

MISE EN VALEUR DES DRÊCHES DE MICROBRASSERIE ET OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION
POUR LES SPÉCIALISTES EN ENVIRONNEMENT

Par
Valérie Labelle

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de monsieur Marc-J. Olivier

MAITRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Janvier 2018

SOMMAIRE

Mots-clés : drêches, microbrasserie, mise en valeur, matière organique, brassicole, production de bière, valorisation, technologie, méthode, Québec

L'objectif principal de cet essai est d'élaborer un outil d'aide à la décision pour les microbrasseurs québécois et les gestionnaires en environnement afin de les outiller pour choisir la méthode de mise en valeur des drêches la plus adéquate selon leur situation géographique. Cet outil d'aide à la décision se traduit par un ensemble de schémas décisionnels spécifiques à chacune des régions administratives où des microbrasseries sont présentes. Il repose aussi sur une évaluation multicritère de neuf méthodes distinctes de mise en valeur basée sur les trois sphères du développement durable, soit la sphère environnementale, la sphère sociale et la sphère technicoéconomique.

Actuellement, le nombre de microbrasseries est en augmentation au Québec, et la quantité de drêches générées aussi. La méthode traditionnelle de mise en valeur, soit l'utilisation des drêches en alimentation animale, ne suffit plus à gérer l'ensemble de l'offre. En plus, le gouvernement québécois désire bannir des lieux d'enfouissement toutes matières organiques d'ici 2020. Il faut ainsi trouver d'autres voies de mise en valeur pour ce sous-produit de l'industrie brassicole.

Cet essai fait une revue de littérature de différentes méthodes de mise en valeur des drêches et dresse un portrait géographique des microbrasseries et des entreprises à potentiel de mise en valeur sur le territoire du Québec. Une analyse multicritère permet de prioriser parmi les neuf méthodes retenues selon de nombreux critères qui s'inscrivent dans le cadre du développement durable. Les résultats ont montré que l'utilisation des drêches en alimentation animale demeure la méthode à privilégier ainsi que leur utilisation comme substrat pour la production de champignons. L'intégration des drêches en alimentation humaine, leur épandage dans les champs et leur combustion dans une chaudière à biomasse sont ensuite à prioriser suivi de la production de bioéthanol, de biogaz, de compost et de charbon à partir de drêches. Les informations tirées du portrait géographique et de l'analyse multicritère sont intégrées dans des schémas décisionnels d'utilisation simple.

Néanmoins, pour favoriser une mise en valeur des drêches par les différentes méthodes proposées, il est recommandé à la gouvernance de poursuivre ou de rouvrir divers programmes d'aide financière, car les entreprises à potentiel de mise en valeur devront modifier leur installation pour pouvoir traiter l'ensemble des drêches générées, ce qui entraînera des coûts importants. D'autres recommandations sont également proposées aux microbrasseurs et aux entreprises. Celles-ci s'orientent vers une participation active et un développement de marchés.

REMERCIEMENTS

En premier temps, j'aimerais remercier mon directeur d'essai, monsieur Marc-J. Olivier, pour sa grande disponibilité, ses nombreuses relectures et son souci du détail. Il a permis d'améliorer mon essai tant sur le contenu que sur le style de rédaction. Ensuite, j'aimerais remercier mes parents qui ont fait preuve d'une grande compréhension tout au long du processus de rédaction et qui m'ont partagé leur point de vue sur mes divers questionnements. Finalement, j'aimerais remercier mon amie Laurie qui m'a encouragé tout au long de cette aventure et qui a cru en moi du début à la fin.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. TERRITOIRE À L'ÉTUDE.....	4
1.1 Politiques en places	4
1.2 Établissements à l'étude	5
2. AVANTAGES SOCIOÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DES DRÊCHES.....	7
2.1 Propriétés des drêches	7
2.1.1 Propriétés physiques.....	7
2.1.2 Propriétés chimiques	9
2.2 Revue des différentes méthodes de mise en valeur des drêches.....	11
2.2.1 Production de biocarburants.....	12
2.2.2 Amendement et compost.....	15
2.2.3 Insertion en industrie alimentaire	17
2.2.4 Production de biogaz.....	20
2.2.5 Substrat pour la culture de microorganismes et de champignons.....	21
2.2.6 Utilisation comme adsorbant.....	22
2.2.7 Support pour l'immobilisation cellulaire.....	22
2.2.8 Autres utilisations.....	23
2.3 Impacts environnementaux de la mise en valeur des drêches	23
2.4 Impacts économiques de la mise en valeur des drêches.....	24
2.5 Impacts sociaux de la mise en valeur des drêches.....	25
3. PORTRAIT GÉOGRAPHIQUE DE LA SITUATION ACTUELLE.....	27
3.1 Portrait géographique des microbrasseries québécoises.....	27
3.1.1 Volume de drêches généré	29
3.2 Portrait géographique des entreprises potentielles de proximité.....	30
3.2.1 Exclusions du portrait géographique.....	31
3.2.2 Entreprises à potentiel de mise en valeur	31

3.3 Association entre les microbrasseries et les entreprises selon la région géographique	35
4. ANALYSE MULTICRITÈRE	38
4.1 Méthodologie	38
4.1.1 Explication des critères et de leur pondération.....	39
4.2 Évaluation multicritère de neuf méthodes	42
4.2.1 Production de bioéthanol.....	42
4.2.2 Combustion dans une chaudière à biomasse	43
4.2.3 Fabrication de charbon de drêches	44
4.2.4 Épandage dans les champs	45
4.2.5 Compostage	46
4.2.6 Utilisation en alimentation animale.....	47
4.2.7 Utilisation dans les boulangeries artisanales	48
4.2.8 Biométhanisation.....	48
4.2.9 Utilisation comme substrat dans les champignonnières	49
4.3 Résultats de l'analyse multicritère.....	50
4.3.1 Explication de la grille	50
4.3.2 Interprétation de la grille d'analyse multicritère	52
5. OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR LA MISE EN VALEUR DES DRÊCHES	54
5.1 Guide d'utilisation pour les schémas décisionnels	54
6. RECOMMANDATIONS.....	57
6.1 Recommandations aux privés.....	57
6.1.1 Microbrasseurs québécois	57
6.1.2 Entreprises à potentiel de mise en valeur	57
6.2 Recommandations à la gouvernance	58
6.2.1 Gouvernement du Québec	58
6.2.2 RECYC-QUÉBEC	58
CONCLUSION	59

RÉFÉRENCES.....	61
BIBLIOGRAPHIE	65
ANNEXE 1 – RENDEMENT EN BIOÉTHANOL SELON LES TRAITEMENTS EMPLOYÉS	66
ANNEXE 2 – CALCULS DES VOLUMES DE DRÊCHES PRODUITES EN 2017	67
ANNEXE 3 – COMPILATION DES ENTREPRISES À POTENTIEL DE MISE EN VALEUR.....	68
ANNEXE 4 – SCHÉMAS DÉCISIONNELS POUR LA PRIORISATION DES MÉTHODES DE MISE EN VALEUR	70

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Modes de gestion des résidus organiques générés par la fabrication de boissons et de produits du tabac	5
Figure 2.1	Microscopie électronique à balayage d'une particule de drêche (grossissement 100 X)	7
Figure 2.2	Microscopie électronique à balayage d'une particule de drêche (grossissement 300 X)	8
Figure 2.3	Pains <i>Boldwin</i> faits à partir de drêches	20
Figure 3.1	Les 17 régions administratives du Québec	27
Figure 3.2	Répartition des microbrasseries selon des tranches de population des villes québécoises	29
Figure 4.1	Vision globale des résultats de l'analyse multicritère	52
Figure 5.1	Canevas pour les schémas décisionnels	56
Tableau 2.1	Pouvoir calorifique de différentes biomasses	9
Tableau 2.2	Variations observées dans la composition chimique de différentes drêches	10
Tableau 2.3	Proportion des différents acides aminés constituant les protéines présentes dans les drêches	11
Tableau 2.4	Pouvoir calorifique de charbons faits à partir de différentes biomasses	15
Tableau 2.5	Quantités de drêches recommandées selon les espèces animales	17
Tableau 2.6	Propriétés de la farine de drêches dans les aliments.....	19
Tableau 3.1	Microbrasseries présentes par région administrative	28
Tableau 3.2	Quantité de drêches produites en 2017 par région administrative	30
Tableau 3.3	Répartition des sites de compostage à travers le Québec	33
Tableau 3.4	Répartition des sites de biométhanisation à travers le Québec	34
Tableau 3.5	Répartition des champignonnières à travers le Québec	35
Tableau 3.6	Distribution régionale des entreprises à potentiel de mise en valeur	36
Tableau 4.1	Description des différentes notes attribuées aux pondérations et aux valeurs	38
Tableau 4.2	Critères évalués dans l'analyse multicritère	39
Tableau 4.3	Grille d'analyse multicritère pour neuf méthodes	51

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET SYMBOLES

AMBQ	Association des microbrasseries du Québec
BAPE	Bureau d’audiences publiques sur l’environnement
DBO	Demande biochimique en oxygène
GES	Gaz à effet de serre
ICI	Industrie, commerce, institution
MAMOT	Ministère des Affaires municipales et de l’Occupation du territoire
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l’Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l’Environnement et de Parcs
PQGMR	Politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles
RACJ	Régie des alcools, des courses et des jeux
UPA	Union des producteurs agricoles
3RV-E	Réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation, élimination

LEXIQUE

Biochar	Matériau poreux et stable, comparable au charbon, obtenu par la combustion du bois et de diverses matières organiques, par pyrolyse (Grand dictionnaire terminologique [GDT], 2011).
Efficacité biologique	L'efficacité biologique est un indice permettant de définir le rendement de champignon qu'il est possible d'obtenir avec un substrat. Dans ce rapport, elle est définie par le ratio de la masse sèche de fructification obtenue sur la masse initiale sèche de substrat utilisé (Geoffrion et Marmette, s. d).

INTRODUCTION

Depuis quelques années, le Québec s'est engagé dans une démarche de développement durable par l'adoption de sa Loi sur le développement durable et les seize principes qui y sont énoncés. Cette démarche vise l'émergence d'une économie verte plus respectueuse de l'environnement. Ainsi, le développement des énergies renouvelables et de nouvelles technologies innovantes est recherché (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs [MDDEP], 2011).

Par ailleurs, l'industrialisation et l'augmentation de la consommation provoquent une pression grandissante sur les ressources naturelles, d'où proviennent les matières premières de nombreux produits ou procédés. Grâce à une économie verte, cette pression peut être réduite par l'utilisation de matières résiduelles pour la fabrication de bien ou pour la production d'énergie (MDDEP, 2011).

La gestion des matières résiduelles est donc un secteur visé par le développement durable et est un enjeu important dans la société québécoise où la conscientisation environnementale prend de plus en plus d'ampleur (MDDEP, 2011; Dubuc, 2015, 28 février). Au Québec, le Plan d'action 2011-2015 qui découle de la Politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles (PQGMR) prévoit bannir d'ici 2020 l'enfouissement de toutes matières organiques résiduelles (MDDEP, 2011). Cette politique est un outil d'intégration du développement durable au secteur de la gestion des matières résiduelles. Par le détournement des matières organiques des sites d'enfouissement, une économie verte peut être développée. En effet, parmi les 13 millions de tonnes de matières résiduelles, de tous types, produites chaque année, certaines peuvent être exploitées à différentes fins plutôt qu'éliminées (MDDEP, 2011). Ainsi, d'ici 2020, les rejets de matières organiques des entreprises et industries devront être traités différemment afin de les récupérer, recycler ou mis en valeur (MDDEP, 2011).

Les producteurs brassicoles font d'ailleurs partie de ces entreprises générant des matières organiques résiduelles. Au cours des dernières années, le nombre de microbrasseries québécoises a explosé. En effet, entre novembre 2011 et novembre 2016, elles sont passées de 87 à 166 microbrasseries réparties à travers la province (Association des microbrasseries du Québec [AMBQ], 2016).

La production de bières engendre des sous-produits, dont les drêches, matières organiques, qui représentent environ 85 % des produits secondaires totaux (Aliyu et Bala, 2011; Lynch, Steffen et Arendt, 2016). Ces dernières résultent de l'extraction des sucres fermentescibles lors de la chauffe d'un mélange de grains maltés broyés et d'eau lors d'une étape nommée empâtage. Celle-ci permet l'activation des enzymes contenues dans les grains maltés et la conversion de l'amidon en sucres fermentescibles (Besse et Dechaine, 2014). Le mélange est ensuite filtré afin de retirer les drêches, c'est-à-dire la matière solide et insoluble restante des grains, incluant des protéines et des lipides (SOLINOV, 2013). Le liquide filtré sucré obtenu

est le mout. Il sera mélangé avec les levures afin de convertir les sucres en alcool et produire la bière. Les drêches éliminées du procédé sont une matière résiduelle de forte humidité pour laquelle des solutions de gestions doivent être choisies.

La valorisation la plus fréquente de ces drêches est son utilisation comme nourriture pour le bétail. En choisissant cette option, les brasseurs font face à deux limitations importantes dues à la forte teneur humide des drêches. Premièrement, le transport peut être coûteux puisqu'elles ont une masse volumique importante. Deuxièmement, cette teneur en eau rend la conservation du sous-produit difficile, car elle est propice au développement de microorganismes. En outre, avec la production croissante des microbrasseries qui s'ajoute à celle des grands brasseurs, l'offre pourrait rapidement dépasser la demande de proximité et il existe sans doute de meilleures options pour les microbrasseries situées loin de fermes d'élevage. (Aliyu et Bala, 2011; Lynch, Steffen et Arendt, 2016)

L'objectif général de cet essai est de créer un outil d'aide à la décision pour aider les spécialistes en environnement et en gestion des matières résiduelles à choisir le type de gestion adéquat pour les drêches des microbrasseries québécoises selon leur situation géographique. Pour atteindre cet objectif, différents éléments devront être étudiés. Premièrement, les différentes méthodes de mise en valeur possible pour les drêches de microbrasseries devront être passées en revue. Deuxièmement, un portrait géographique global des microbrasseries québécoises ainsi que celui des entreprises au potentiel de mise en valeur devront être réalisés. Troisièmement, une analyse multicritère sera complétée afin de prioriser les différentes méthodes de mise en valeur selon les trois axes de développement durable. Puis finalement, un bref guide d'utilisation des schémas d'aide à la décision devra être présenté. Ces sous-objectifs permettront de répondre à l'objectif général en incluant tant l'aspect technique, social, économique et environnemental.

Certaines limites sont toutefois présentes dans le cadre de la réalisation de ce travail. L'essai se concentrera uniquement sur les drêches de petits brasseurs québécoises puisque les tendances montrent clairement que la consommation de bières de microbrasseries est en augmentation importante par opposition à celle de bières de grands brasseurs qui est en déclin. Ainsi, la gestion de ces drêches supplémentaires pourrait devenir un enjeu majeur dans les années à venir (Lacroix-Couture, 2015, 16 décembre). Par ailleurs, étant donné que le nombre de microbrasseries est en explosion, il se peut que les dernières nées ne soient pas considérées dans cet essai, puisque les informations disponibles sur celles-ci ne sont pas encore colligées dans les bases de données de la Régie des alcools, des courses et des jeux (RACJ) du gouvernement du Québec.

Pour la réalisation de cet essai, l'information présentée provient de nombreuses sources. Certaines entreprises à potentiel de mise en valeur ont été directement contactées afin d'obtenir des informations sur leur utilisation des drêches. De plus, des recherches dans la littérature, dont les publications scientifiques,

ont été effectuées pour compiler les informations sur les propriétés des drêches et sur les différentes méthodes de mise en valeur des drêches, ainsi que pour réaliser les portraits géographiques mentionnés plus tôt. L'analyse multicritère pour sa part a été développée en s'inspirant de la « boussole bernoise du développement durable » (Canton de Berne, s. d.).

En outre, pour assurer la qualité des sources utilisées, différents critères ont été considérés tels que la crédibilité de celles-ci et leur année de publication. Ainsi, des publications gouvernementales, telles que des lois et des politiques, ont été utilisées, tout comme diverses publications scientifiques présentes dans des périodiques et des publications universitaires. De cette façon, une grande variété de sources de qualité a été considérée.

Pour atteindre les objectifs, l'essai est divisé en six chapitres distincts. Le premier chapitre décrit le territoire à l'étude, soit l'ensemble du Québec et présente brièvement les politiques, règlements et lois en place concernant la gestion des matières résiduelles, dont les résidus organiques au niveau provincial. Il présente également la part du marché brassicole québécois occupé par les microbrasseries et détermine les balises utilisées pour définir une microbrasserie. Le chapitre 2, quant à lui, fait ressortir les avantages, tant socioéconomiques qu'environnementaux, de la mise en valeur des drêches de microbrasseries. Pour ce faire, les caractéristiques physicochimiques de celles-ci sont présentées, tout comme une revue de différentes méthodes de mise en valeur. Parmi celles-ci, la production de biocarburants, de compost et de biogaz est exposée. De plus, le potentiel d'utilisation des drêches dans l'industrie alimentaire est explicité. À la lumière de ces informations, les impacts environnementaux, économiques et sociaux de la mise en valeur de cet élément sont énoncés. Ensuite, le chapitre 3 détermine l'état géographique actuel de la situation. En d'autres mots, un portrait géographique des microbrasseries québécoises est fait, tout comme un portrait géographique des entreprises à potentiel de mise en valeur des drêches. Ainsi, des associations entre les microbrasseries et les entreprises dans différentes régions du Québec qui pourraient mettre en valeur les drêches sont effectuées. Le chapitre 4 consiste, pour sa part, en une analyse multicritère, orienté dans le cadre du développement durable, qui permet de mettre de l'avant les entreprises à potentiel de mise en valeur qui devraient être priorisées pour le traitement des drêches. Pour ce faire, la méthodologie est détaillée et les résultats sont interprétés. À la suite, le chapitre 5 présente l'outil d'aide à la décision pour les spécialistes en environnement sous forme de schémas décisionnels ainsi qu'un guide d'utilisation de ces schémas. Cet outil prend donc en considération les résultats de l'analyse multicritère. Finalement, le chapitre 6 énonce des recommandations à l'intention des microbrasseurs et des entreprises à potentiel de mise en valeur, mais également au niveau de la gouvernance, soit du gouvernement québécois et de RECYC-QUÉBEC.

1. TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Dans ce chapitre, le territoire à l'étude est présenté sur le plan politique ainsi que les limites choisies pour les établissements intégrés dans le cadre de ce travail.

1.1 Politiques en place

Au Québec, la gestion des matières résiduelles est établie à travers la PQGMR et plus précisément dans le Plan d'action 2011-2015. Les objectifs de la politique reflètent la volonté du gouvernement à bâtir une économie verte en mettant fin au gaspillage des ressources et en responsabilisant les acteurs concernés par la gestion des matières résiduelles. Dans cet ordre d'idées, le plan d'action présente différentes mesures qui s'inscrivent dans le cadre du développement durable et qui visent le respect de la hiérarchisation des 3RV-E, soit la réduction à la source, le réemploi, le recyclage, la valorisation et l'élimination, respectivement dans cet ordre. Le bannissement des matières organiques putrescibles des sites d'enfouissement est d'ailleurs visé pour 2020. Pour y arriver, le gouvernement québécois soutient financièrement les municipalités pour l'établissement de centres de traitements de ces matières par des procédés biologiques comme des sites de compostage et des centres de biométhanisation (MDDEP, 2011). D'ailleurs, le plan d'action mentionne que :

« le recyclage de la matière organique putrescible, soit l'épandage sur le sol ainsi que le compostage et la biométhanisation en vue de l'amendement des sols, doit être privilégié par rapport aux autres formes de valorisation, dont la valorisation énergétique. » (MDDEP, 2011, p. 18).

Cette orientation respecte ainsi la hiérarchisation des 3RV et devra être considérée dans l'analyse multicritère présentée au chapitre 5.

La politique prévoit également d'augmenter les redevances associées à l'élimination des matières résiduelles et l'interdiction progressive d'acheminer des matières organiques dans les lieux d'élimination. Cette stratégie a pour objectif de stimuler la performance des institutions, commerces et industries (ICI), qui génèrent plus de 40 % de l'ensemble des matières résiduelles de la province. (MDDEP, 2011)

De manière plus précise les ICI ont généré plus de 2 millions de tonnes de matières organiques en 2015. Le secteur des industries de fabrication d'aliments et de boissons est le deuxième secteur d'activité générant le plus de matières organiques précédé par les papetières. Cependant, dans le secteur de l'industrie agroalimentaire, une très grande partie des résidus sont déjà détournés de l'élimination. En effet, en 2013, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a estimé que 96 % des résidus de ce secteur, tant solides que liquides, étaient mis en valeur. Une grande partie de ceux-ci rejoint l'alimentation animale ou l'équarrissage, c'est le cas de la drêche. (RECYC-QUÉBEC, 2017)

Qu'en sera-t-il lorsque l'offre de drêches surpassera la demande en alimentation animale ou en équarrissage? L'enfouissement des drêches ne peut être considéré pour gérer cette offre supplémentaire due à l'augmentation du nombre de microbrasseries, donc il convient de prioriser les différentes méthodes de mise en valeur de ces résidus selon les orientations de la PQGMR.

1.2 Établissements à l'étude

Les brasseries sont les entreprises générant le plus de matières résiduelles organiques parmi l'ensemble des entreprises de fabrication de boissons et de produits de tabac. Selon une étude effectuée en 2013 par SOLINOV, sur 152 entreprises québécoises de l'ensemble de ce secteur, 116 635 t de matières résiduelles organiques sont générées annuellement, soit 16,8 t/employé/an. Dans ces matières résiduelles se retrouvent les drêches, mais également les levures utilisées lors de la fermentation alcoolique, certains résidus de filtration comme du houblon, de la bière en tant que telle et de la pulpe d'étiquette issue principalement du lavage des bouteilles consignées (SOLINOV, 2013). La figure 1.1 présente les modes de gestion utilisés pour ces matières.

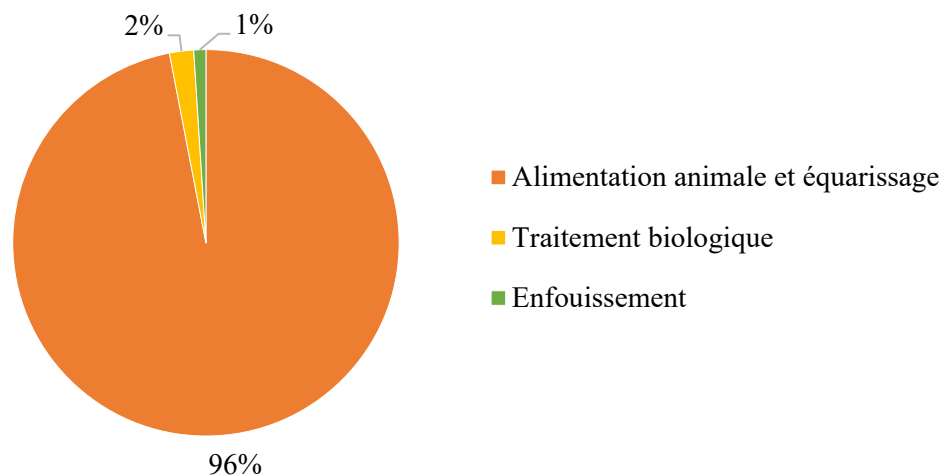


Figure 1.1 Modes de gestion des résidus organiques générés par la fabrication de boissons et de produits du tabac (inspiré de : SOLINOV, 2013, p. 47)

Il est important de noter que le groupe « traitement biologique » comprend le compost, la biométhanisation et l'épandage, tous trois participant au recyclage, tandis que l'alimentation animale et l'équarrissage sont considérés comme du réemploi. De plus, il est possible de constater que parmi les répondants, 0 % de leurs matières organiques résiduelles est dédié à l'alimentation humaine tandis qu'une très grande proportion est utilisée pour l'alimentation animale. (SOLINOV, 2013)

Par ailleurs, comme mentionné précédemment, cet essai se concentrera uniquement sur les microbrasseries puisque celles-ci sont en croissance importante. En effet, le nombre de permis de petits brasseurs et

d'artisans-brasseurs a augmenté respectivement de 550 % et de 482 % entre 2002 et 2016, tandis que le nombre de permis de grands brasseurs demeure constant soit à seulement trois. En comparaison, en novembre 2016, le nombre de permis de petits brasseurs s'élevait à 110 et le nombre de celui d'artisans brasseurs à 53. (Association des microbrasseries du Québec [AMBQ], 2017)

De plus, la part de marché des bières de microbrasseries québécoises pourrait passer de 8 % à 12 % d'ici 2020, tandis que la part de marché des grandes brasseries du pays est en décroissance (Lacroix-Couture, 2015, 16 décembre; Ducharme, 2016, 31 janvier). En effet, leur part est passée de 42 % à 38 % en dix ans (Ducharme, 2016, 31 janvier).

Cela confirme que la problématique d'offre de drêches supplémentaires provient des microbrasseries et non des grandes brasseries (AMBQ, 2017). L'Association des microbrasseries du Québec (AMBQ) précise qu'une microbrasserie ne brasse pas plus de 300 000 hectolitres par année. Au-delà de ce seuil, il s'agit de grands brasseurs comme Molson, Labatt et Sleeman (Lacroix-Couture, 2015, 16 décembre). Cette définition sera utilisée dans ce travail.

En outre, deux types de permis sont également offerts aux brasseurs. Le permis de producteur artisanal permet aux brasseurs de vendre leurs bières pour consommation uniquement sur le lieu même de production alors que le permis de fabricant industriel permet en plus de distribuer les bières produites dans les dépanneurs et les épiceries. Ce dernier permis permet de vendre leurs bières dans un salon de dégustation aménagé à la brasserie, mais séparé physiquement du lieu de production. Les grands et petits brasseurs détiennent ce type de permis. Ainsi, la distinction entre les deux se fait seulement au niveau du volume de production annuel supérieur ou inférieur à 300 000 hectolitres. Les artisans brasseurs quant à eux détiennent le permis de producteur artisanal avec l'autorisation de vendre uniquement sur place. (Lacroix-Couture, 2015, 16 décembre)

En résumé, le Plan d'action 2011-2015 de la PQGMR vise le bannissement des matières organiques putrescibles des lieux d'élimination, telles que la drêche, d'ici 2020. Il prévoit également le respect de la hiérarchisation des 3RV dans la gestion des matières résiduelles et offre une aide financière aux municipalités pour mettre en place de nouvelles infrastructures de lieux de traitement des matières organiques résiduelles (MDDEP, 2011). Par ailleurs, le terme « microbrasserie » est défini comme un brasseur possédant soit un permis de producteur artisanal ou un permis de fabricant industriel ne produisant pas plus de 300 000 hectolitres de bières par an (Lacroix-Couture, 2015, 16 décembre). De cette façon, les grands brasseurs tels que Molson, Labatt et Sleeman sont exclus du cadre de ce travail.

2. AVANTAGES SOCIOÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DES DRÊCHES

Afin d'exposer les avantages socioéconomiques et environnementaux de la mise en valeur des drêches, les propriétés physicochimiques de celles-ci doivent être relevées et les différentes méthodes de mise en valeur doivent être passées en revue. Ce chapitre présentera donc ces différents éléments et les impacts environnementaux, économiques et sociaux associés à la mise en valeur de ces résidus.

2.1 Propriétés des drêches

La section 2.1 explore les différentes propriétés physiques et chimiques des drêches de microbrasserie afin d'établir leur potentiel d'utilisation dans divers processus.

2.1.1 Propriétés physiques

Les drêches de microbrasserie se composent essentiellement des différentes couches de l'enveloppe du grain utilisé dans les premières étapes du procédé de fabrication de bière. Ces couches sont riches en cellulose, en polysaccharides non cellulosiques et en lignine. Les drêches sont donc une matière lignocellulosique généralement constituée d'environ 20 % de protéines et d'environ 70 % de fibres. D'ailleurs, lorsqu'elles sont observées au microscope, il est possible de voir ces nombreuses couches de fibres. La figure 2.1 présente une observation d'une particule de drêche au microscope électronique à balayage avec un grossissement de 100 fois tandis que la figure 2.2 présente la même particule, mais avec un grossissement de 300 fois. Les points brillants observés sur la partie externe de l'enveloppe des grains sont des silicates. Ceux-ci constituent environ 25 % des minéraux présents dans la drêche. (Mussatto, Dragone et Roberto, 2006)



Figure 2.1 Microscopie électronique à balayage d'une particule de drêche (grossissement 100 X) (tiré de Mussatto et al., 2006, p. 4)

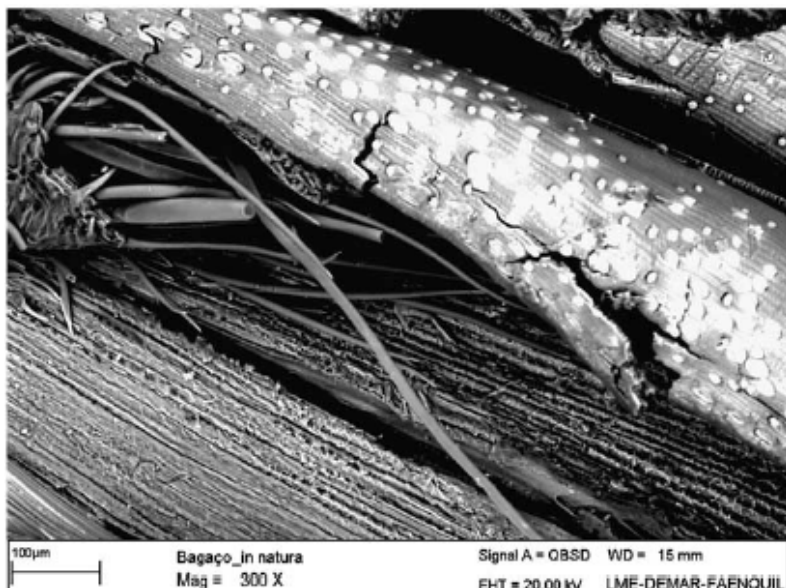


Figure 2.2 Microscopie électronique à balayage d'une particule de drêche (grossissement 300 X) (tiré de Mussatto et al., 2006, p. 4)

À noter que les grains utilisés pour la fabrication de bières peuvent grandement varier, leur choix vient modifier le goût du produit final. L'orge est généralement employée, mais elle peut être utilisée en mélange avec d'autres types de céréales, comme du blé, du maïs, du riz, de l'avoine et du seigle. Dans tous les cas, les drêches se composent des parties insolubles de ces différents grains. (Mussatto, 2014)

Le taux d'humidité des drêches, il se situe entre 77 % et 85 % sur une base massique (Aliyu et Bala, 2011; Mussatto et al., 2006). Cette grande teneur en eau ainsi que son contenu en polysaccharides et en protéines font des drêches un matériau où la croissance microbiologique est favorisée. Ainsi, il suffit de seulement sept à dix jours pour qu'elle se détériore (Aliyu et Bala, 2011). Il en découle des enjeux quant à son entreposage et son utilisation sous forme humide. Le séchage des drêches est d'ailleurs une alternative pour prolonger sa durée de préservation tout en diminuant le volume et la masse associée à ce produit. À titre d'exemple, lorsque les drêches contiennent près de 76 % d'eau, sa masse volumique est de 450 kg/m^3 (Mussatto et al., 2006) tandis qu'elle est de 257 kg/m^3 à une teneur en eau de 58 % (Lee, 2010). De cette façon, les coûts d'entreposage et de transport de cette matière s'en retrouvent également diminués (Mussatto et al., 2006).

Les pouvoirs calorifiques inférieurs et supérieurs des drêches s'élèvent respectivement à 18,64 MJ/kg de matière sèche soit 4455 kcal/kg et 20,14 MJ/kg soit 4814 kcal/kg (Mussatto et al., 2006; Mussatto, 2014). Le pouvoir calorifique supérieur de cette matière est comparable à celui d'autres biomasses présentées au tableau 2.1. Cependant, ces valeurs dépendent du taux d'humidité de la matière en question. Ainsi, elles sont utiles à titre indicatif et peuvent varier.

Tableau 2.1 Pouvoir calorifique de différentes biomasses (inspiré de : Carassou, 2015, p. 13)

Type de biomasse	Pouvoir calorifique (kcal/kg de matière sèche)
Brindilles de coton	3750
Épis de maïs	3804
Enveloppe de riz	3805
Paille de blé	4185
Bagasse de canne à sucre	4470
Tiges de jute	4619
Fibre de coco	4707
Drêches de brasserie	4814
Bois	5450
Marc de café	5700

Le grand pouvoir calorifique associé aux drêches de brasserie par rapport à la majorité des autres biomasses laisse présager que l'utilisation de cette matière pour générer de la chaleur par combustion serait une avenue intéressante pour la mise en valeur de ce produit. Cependant, les drêches sortantes du procédé possèdent un taux d'humidité élevé qu'il faut abaisser sous un seuil minimal de 55 % pour pouvoir en effectuer la combustion (Weger et al, 2014).

2.1.2 Propriétés chimiques

Comme mentionné plus tôt, les grains utilisés lors de la fabrication de la bière peuvent varier selon les types de produits recherchés. Cet aspect influence la composition élémentaire des drêches et ses propriétés chimiques. De plus, les conditions de culture des grains et celles utilisées pour le maltage peuvent aussi influencer la composition des drêches tout comme certains paramètres du procédé (Mussatto, 2014). Ainsi, cette section présente des données globales qui pourraient varier selon la bière brassée et d'autres facteurs externes.

De façon générale, les drêches sont principalement composées de fibres soit la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, et de protéines. La cellulose et l'hémicellulose sont quant à elles constituées de sucres, dont le xylose, l'arabinose et le glucose. Au total, les sucres forment près de la moitié des drêches sur une base sèche et massique. Par ailleurs, les drêches contiennent plusieurs minéraux en quantité variable. Habituellement, le silicium, le phosphore et le calcium sont les trois les plus abondants. (Mussatto, 2014)

Le tableau 2.2 illustre les variations observées dans la composition de différentes drêches.

Tableau 2.2 Variations observées dans la composition chimique de différentes drêches (inspiré de : Mussatto, 2014, p. 1266)

Composition chimique		Variations observées
Composantes (g/kg de matière sèche)	Cellulose	Entre 168 et 260
	Hémicellulose	Entre 192 et 419
	Lignine	Entre 119 et 278
	Groupements acétylés	Entre 11 et 14
	Protéines	Entre 153 et 247
	Cendres	Entre 11 et 46
	Extractibles	Entre 56 et 107
Principaux minéraux (mg/kg de matière sèche)	Silicium	Entre 1400 et 10740
	Phosphore	Entre 4600 et 6000
	Calcium	Entre 2200 et 3600
	Magnésium	Entre 1900 et 2400
	Sulfure	Entre 1980 et 2900
	Potassium	Entre 258,1 et 700
	Sodium	Entre 100 et 309,3
	Fer	Entre 100 et 193,4
	Zinc	Entre 81,2 et 178,0
	Aluminium	Entre 36,0 et 81,2
	Manganèse	Entre 40,9 et 51,4

Les composantes extractibles correspondent à celles pouvant être extraites à l'aide d'un solvant. Parmi celles-ci, les composés phénoliques ont une activité antioxydante. Ces derniers se retrouvent de façon relativement importante dans les drêches, lui conférant ainsi des propriétés bioactives. De façon plus précise, l'acide férulique et l'acide *p*-coumarique sont les deux principaux acides phénoliques retrouvés dans les drêches de brasserie. Par ailleurs, des flavonoïdes sont aussi présents et participent également à la capacité antioxydante associée à ce sous-produit. (Mussatto, 2014)

Les drêches contiennent également diverses vitamines en concentration variable, comme la choline, l'acide folique, la niacine, la riboflavine, la thiamine et la biotine pour ne mentionner que celles-ci (Aliyu et Bala, 2011).

En ce qui concerne les acides aminés, le tableau 2.3 présente les proportions de ceux retrouvés dans les drêches. Ces données approximatives peuvent aussi varier selon les drêches étudiées. Au total, les acides

aminés essentiels constituent près de 30 % du contenu en protéines, tandis que les non essentiels en représentent environ 70 %. (Mussatto, 2014)

Tableau 2.3 Proportion des différents acides aminés constituant les protéines présentes dans les drêches (inspiré de : Mussatto, 2014, p. 1265)

Acides aminés		Pourcentage (%)
Essentiels	Lysine	14,3
	Leucine	6,12
	Phénylalanine	4,64
	Isoleucine	3,31
	Thréonine	0,71
	Tryptophane	0,14
Non essentiel	Histidine	26,27
	Acide glutamique	16,59
	Acide aspartique	4,81
	Valine	4,61
	Arginine	4,51
	Alanine	4,12
	Sérine	3,77
	Tyrosine	2,57
	Glycine	1,74
	Asparagine	1,47
	Acide γ -aminobutyrique	0,26
	Glutamine	0,07

En outre, les drêches générées par l'industrie brassicole possèdent des propriétés physiques et chimiques très variables. Celles-ci dépendent non seulement du type de grain utilisé, mais également des conditions de culture de ceux-ci. Les paramètres utilisés lors du maltage des grains et lors de l'empâtage, comme la température ou la durée, peuvent également influencer les caractéristiques du sous-produit (Aliyu et Bala, 2011). Toutefois, certaines tendances s'observent de façon générale. Ainsi, les drêches sont principalement constituées de fibres et de protéines, et contiennent plusieurs minéraux et vitamines. Elles possèdent également certaines propriétés bioactives grâce à leur contenu en acides phénoliques et en flavonoïdes. (Mussatto, 2014)

2.2 Revue des différentes méthodes de mise en valeur des drêches

La section 2.2 présente différentes options déjà envisagées pour la mise en valeur des drêches de brasserie. Ainsi, les drêches peuvent être employées dans l'industrie des biocarburants. Elles peuvent également servir d'amendement pour le sol ou bien être compostées. Elles sont aussi déjà amplement utilisées dans l'industrie

alimentaire, soit en tant que nourriture pour le bétail. Toutefois, elles peuvent également être intégrées dans l'alimentation humaine. Les drêches peuvent aussi être utilisées pour la production de biogaz ou comme substrat pour la culture de microorganismes et de champignons. Plusieurs autres avenues de mise en valeur de ce sous-produit sont aussi possibles. Cette revue des utilisations possibles des drêches de brasserie permet d'identifier des types d'entreprises à potentiel de mise en valeur ce qui sera utile pour le chapitre 3 de ce travail.

2.2.1 Production de biocarburants

Dans les dernières années, la production d'éthanol à partir de la biomasse a été le sujet de plusieurs études ciblant son grand potentiel comme biocarburant alternatif à l'essence régulière. L'éthanol peut ainsi être dilué en différente proportion dans de l'essence réduisant ainsi la dépendance des sociétés à cette matière non renouvelable et polluante. Il s'agit également d'une alternative intéressante puisque cette utilisation d'éthanol carboneutre permet de lutter contre les changements climatiques, enjeu important de l'ère actuelle. (Liguori, Soccol, Vandenberghe, Woiciechowski et Faraco, 2015; Mussatto, 2014)

Cependant, il convient de faire la distinction entre les biocarburants de première et de deuxième génération. Les premiers reposent sur l'utilisation de ressources alimentaires, telles que le maïs, pour la production d'éthanol (Mussatto, 2014; Liguori et al., 2015). Or, l'augmentation en popularité de l'éthanol lors des dernières années pose un problème éthique devant le détournement de ces ressources alimentaires au profit d'une utilisation effrénée en énergie des pays industrialisés (Olivier, 2016; Mussatto, 2014). Les biocarburants de deuxième génération sont pour leur part générés à partir de matière lignocellulosique provenant de ressources non alimentaires (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014). Leur utilisation permet donc de contrer le problème éthique associé aux biocarburants de première génération. Il est ainsi possible d'utiliser n'importe quelle matière lignocellulosique résiduelle afin d'y conférer une deuxième vie et d'assurer une bonne gestion de cette matière résiduelle. De plus, les résidus de ce type sont disponibles en grande quantité et à faibles coûts. À titre d'exemple, il est possible d'utiliser les matières organiques résiduelles municipales, les résidus issus de l'agriculture et les drêches de l'industrie brassicole (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014).

De façon plus théorique, l'éthanol est issu de la transformation biochimique de la biomasse par des microorganismes et des enzymes (Olivier, 2016). Pour que cette transformation soit possible, il faut que les sucres contenus dans la matière lignocellulosique soient rendus accessibles aux microorganismes, soit des levures, afin que celles-ci puissent en effectuer la fermentation alcoolique (Olivier, 2016; Mussatto, 2014; Liguori et al., 2015). Ainsi les drêches, produit de grand intérêt pour la production d'éthanol dû à leur contenu élevé en hémicellulose et en cellulose, doivent passer par une étape de prétraitement avant l'étape de fermentation (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014). Ce prétraitement vise à éliminer la lignine et ensuite

à effectuer une saccharification enzymatique pour transformer les sucres complexes de la cellulose et de l'hémicellulose en sucres simples et accessibles aux levures (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014).

Plusieurs types de prétraitement physique, chimique, biologique ou physicochimique des drêches permettent d'éliminer la lignine. Le rendement en éthanol va cependant varier selon le type de traitement utilisé, mais également selon le choix des enzymes et des levures utilisées et les conditions de fermentation (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014). L'annexe 1 présente un tableau comparatif des différentes méthodes de production d'éthanol à partir des drêches de brasserie et de grandes variations du rendement en éthanol obtenu. En effet, parmi les études comparées, ce dernier varie entre 30 % et 63 % (Mussatto, 2014). Par exemple, le prétraitement peut influencer le rendement de la saccharification et ainsi le rendement en éthanol. Aussi la diminution de la taille des particules de drêches au niveau du micron permet d'augmenter le rendement de la saccharification enzymatique à 45 % en opposition à 23 %, tout en utilisant le même mélange d'enzymes (Liguori et al., 2015). Le choix de prétraitement est donc très important, tout comme le choix des levures, car certaines souches sont plus performantes que d'autres (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014). À titre d'exemple, une étude a montré que pour le même prétraitement et les mêmes conditions de fermentation, le rendement en éthanol atteint était de 45 % avec levure de genre *Kluyveromyces* et de 63 % avec une de genre *Pichia* (Mussatto, 2014). En outre, les drêches sont un sous-produit très variable et les caractéristiques de celles-ci peuvent influencer le rendement en éthanol (Liguori et al., 2015).

En ce qui concerne l'aspect économique de la production d'éthanol, l'utilisation des drêches de l'industrie brassicole peut être avantageuse par rapport à d'autres types de biomasses. En effet, lors de l'étape de fermentation des drêches, l'ajout de nutriments pour les levures dans le milieu n'a pas d'influence marquée sur l'efficacité de la conversion des sucres en éthanol contrairement à la bagasse de canne à sucre par exemple (Mussatto, 2014). Une étude a déterminé qu'avec les mêmes conditions de fermentation, une consommation de 45,0 g/L de glucose permet d'obtenir 12,0 g/L d'éthanol dans un milieu sans nutriment en comparaison avec 12,7 g/L dans un milieu avec des nutriments (Liguori et al., 2015). Ces valeurs correspondent des rendements respectifs de 51 % et 55 % (Liguori et al., 2015). Ainsi, la différence de rendement est peu marquée. Toutefois, l'ajout de nutriment permet d'améliorer la croissance cellulaire et ainsi de réduire la durée de la fermentation à 24 h plutôt qu'à 48 h pour un milieu sans nutriment (Liguori et al., 2015). En outre, il peut être avantageux sur le plan économique de ne pas ajouter de nutriment pour réduire les coûts de la production de bioéthanol, malgré une durée plus longue du processus (Mussatto, 2014). Par ailleurs, le mélange d'enzymes nécessaires pour effectuer la saccharification représente une proportion assez importante des coûts associés à cette méthode de mise en valeur des drêches (Aliyu et Bala, 2011).

Dans un autre ordre d'idée, il est possible d'utiliser les drêches dans une chaudière à biomasse pour produire de la vapeur. Les drêches elles-mêmes peuvent alors servir à chauffer les différents équipements du procédé de fabrication de la bière nécessitant de la chaleur (Mussatto, 2014). La mise en valeur des drêches devenues combustibles pour la chaudière s'effectue donc à même la microbrasserie dans le cas présent. Cette méthode de valorisation permet d'éviter tous les coûts associés au transport de cette matière vers des entreprises extérieures de mise en valeur. Par contre, une étape préalable est requise avant la chaudière à biomasse. Pour pouvoir brûler, leur taux d'humidité doit descendre sous les 55 %, c'est-à-dire qu'elles doivent contenir moins de 550 g d'eau par kilogramme de matière. Pour se faire, les drêches peuvent être séchées de différentes façons, soit dans un séchoir à tambour rotatif ou dans un filtre-pressé, par exemple. L'étape de séchage des drêches est cependant très énergivore et cela peut être défavorable sur le plan économique. (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006)

Néanmoins, le plus gros défi associé à la combustion des drêches est l'émission de particules et de gaz toxiques. En effet, la combustion de cette matière engendre des émissions de dioxyde d'azote et de dioxyde de soufre à des concentrations de 1000 à 3000 mg/m³ et de 480 mg/m³ respectivement. Des précautions doivent donc être prises lors de la combustion des drêches pour contrer ce problème de gaz précurseurs acides. (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006).

Une autre manière de mettre en valeur les drêches consiste à en faire des briquettes de charbon, utilisables dans les barbecues par exemple (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006). Pour y arriver, les drêches doivent d'abord être séchées et carbonisées dans un environnement faible en oxygène pour éviter la combustion de la matière puisque la carbonisation s'effectue à très haute température (Mussatto et al., 2006). Les briquettes de charbon de drêches produites de cette façon contiennent divers minéraux. Une étude a montré que ces produits contenaient entre autres 81 % de carbone fixé et 12 % de cendres, ces dernières sont constituées de 47 % de phosphore, 22 % de calcium, 14 % de magnésium et 13 % de silicium (Mussatto et al., 2006). Par ailleurs, le pouvoir calorifique des briquettes de charbon de drêches s'élève à 27 MJ/kg, ce qui est supérieur à celui des drêches non transformées (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006). Le tableau 2.4 compare les pouvoirs calorifiques obtenus par la transformation de différentes matières organiques en charbon. Il est possible de constater que celui obtenu à partir des drêches est supérieur à celui obtenu à partir du bois, mais inférieur aux pouvoirs calorifiques du charbon de canne à sucre, de bagasse de raisins, de bagasse d'olive et de coques de noixettes (Mussatto et al., 2006). Cependant, une analyse thermique montre que le charbon de drêches possède des propriétés de combustion inférieures à celles du charbon de sciure de bois puisque sa température d'ignition est plus élevée et que sa période de combustion est plus longue (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006).

Tableau 2.4 Pouvoir calorifique de charbons faits à partir de différentes biomasses (traduction libre de : Mussatto et al., 2006, p. 7)

Matière brute	Pouvoir calorifique du charbon (MJ/kg)
Bois	25,5
Drêches de brasserie	27,0
Canne à sucre	29,3
Bagasse de raisin	30,0
Bagasse d'olive	31,0
Coques de noisettes	32,0

En somme, les drêches de brasserie sont des matières résiduelles de choix pour la production de bioéthanol, produit dont la demande est grandissante (Liguori et al., 2015; Mussatto, 2014). Elles peuvent également être mises en valeur à même la microbrasserie en servant de combustible pour générer de la chaleur nécessaire au procédé de fabrication de bières ou être transformées en briquettes de charbon (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006). D'ailleurs, la cuisson au charbon de bois semble gagner en popularité au Québec, ce qui laisse croire qu'il y aurait un marché intéressant pour le charbon de drêche (Gagné, 2017).

2.2.2 Amendement et compost

L'utilisation des drêches pour l'épandage dans les champs est une méthode déjà utilisée de mise en valeur de ce sous-produit (Croisier, 2014). Les drêches constituent un bon amendement pour la terre, c'est-à-dire qu'elles apportent une charge de matière organique importante et modifient ainsi le comportement chimique du sol (Olivier, 2016). Elles permettent de plus un réapprovisionnement en nutriments. Comme mentionné plus tôt, elles sont constituées de protéines, de lignine, d'hémicelluloses et de celluloses, ainsi que de plusieurs minéraux et acides aminés. Avec ses différentes caractéristiques, les drêches peuvent donc améliorer certaines propriétés du sol, dont les propriétés chimiques et biologiques, si bien que leur épandage peut mener à une augmentation de la productivité du sol. Elles permettent également de modifier la structure du sol en améliorant son agrégation et en améliorant sa capacité de rétention de l'eau. (Nsoanya et Nweke, 2015; Croisier, 2014)

Toutefois, l'épandage d'amendement comme les drêches amène certains défis liés à la libération lente de ses nutriments ou la grande quantité nécessaire. Ainsi, il peut être pertinent de combiner l'épandage des drêches avec une utilisation d'engrais inorganiques dont le contenu en azote, phosphore et potassium est connu. De cette façon, le rendement de la production pourrait être optimisé (Nsoanya et Nweke, 2015; Croisier, 2014). Une étude a d'ailleurs comparé l'effet de l'épandage des drêches et celui des drêches avec

un engrais inorganique sur la croissance du maïs et sur la composition chimique du sol. L'engrais inorganique se décrit par le système NPK où le premier chiffre représente le pourcentage d'azote (N) dans la matière, le deuxième chiffre exprime le pourcentage de P_2O_5 et le dernier chiffre décrit le pourcentage de K_2O (Olivier, 2016). Dans l'étude concernée, les chercheurs ont utilisé un engrais NPK (20 10 10). Ils ont montré que la combinaison de l'utilisation des drêches et de l'engrais permet d'obtenir des plants de maïs de plus grande taille, et ce de façon significative après huit semaines. La quantité totale de biomasses par plan étant supérieure, cependant, le diamètre des tiges, ainsi que le nombre de feuilles étaient plutôt similaires avec le cas de l'utilisation des drêches seules. De même, le contenu en carbone organique et en azote obtenu par unité de masse était assez similaire dans les deux cas étudiés. Bien que l'étude n'ait pas démontré plusieurs différences significatives entre l'utilisation combinée de drêches et d'engrais, comparé aux drêches seules, il est important de noter que les variations avec le contrôle (sans ajout de drêches ou d'engrais) étaient importantes dans les deux cas, tant pour les paramètres de croissance des plants de maïs que pour les paramètres de la composition chimique du sol. Ainsi, l'utilisation des drêches permet d'améliorer la productivité d'une culture. (Nsoanya et Nweke, 2015)

Par ailleurs, l'épandage des drêches dans les cultures ne nécessite pas d'étape de traitement de ce sous-produit. En effet, les drêches humides éliminées du procédé peuvent directement être épandues. Cette méthode de mise en valeur permet donc d'éviter les coûts de traitement parfois inévitables avec d'autres types de techniques. (Nsoanya et Nweke, 2015; Aboukila, Nassar, Rashad, Hafez et Norton, 2016; Croisier, 2014)

Les drêches de brasseries peuvent aussi être compostées. Toutefois, leur compostage nécessite une certaine attention due à leur grand contenu en eau et en protéines. Ces caractéristiques peuvent rapidement mener à la détérioration microbiologique des drêches si elles sont simplement laissées en andain sans subir les manipulations adéquates. En effet, dans un cas comme celui-là, des zones anaérobies créeraient des odeurs désagréables. Pour remédier à cette situation, une quantité significative d'agents de remplissage, comme des copeaux de bois, doit être utilisée afin d'augmenter la porosité de l'andain et de permettre à l'air de circuler. De plus, pour éviter la détérioration microbiologique des drêches, le ratio carbone-azote (C : N) doit être adéquat. Ce sous-produit est une matière azotée, puisqu'il contient une grande proportion de protéines, et il convient donc d'ajouter des matières carbonées au compost, telle de la sciure de bois. D'ailleurs, l'ajout de cette matière devrait s'effectuer dans les quatre jours suivants l'élimination des drêches du procédé afin d'éviter la détérioration microbiologique de ce sous-produit. (Croisier, 2014; Zang, 2015)

En outre, bien que les drêches puissent être compostées, cette méthode de mise en valeur présente des difficultés techniques. En effet, la grande humidité des drêches rend l'entretien des andains plus complexes. Ainsi, il pourrait être difficile de composter les drêches avec d'autres matières organiques mixtes

puisqu'elles nécessitent une plus grande attention. Pour pouvoir composter les drêches à un site de compostage de matières organiques, il pourrait être pertinent de sécher celles-ci préalablement afin de réduire les défis associés à la teneur en eau de ce sous-produit. Néanmoins, une réhydratation des drêches pourrait être nécessaire pour assurer le bon déroulement du compostage si elles sont trop sèches. (Croisier, 2014; Zang, 2015) Ainsi, sur le plan économique, le compostage des drêches ne semble pas présenter d'avantages par rapport à l'épandage au champ de celles-ci.

2.2.3 Insertion en industrie alimentaire

Les drêches de brasserie sont généralement utilisées en alimentation animale. Elles constituent une source importante de protéines et présentent divers avantages quant à leur utilisation. Elles sont principalement utilisées comme fourrage pour les vaches laitières et pour l'engraissement des bovins, mais elles peuvent aussi être utilisées notamment pour l'alimentation des chèvres, des moutons, des porcs et des chevaux (Mussatto, 2014). Toutefois, pour les animaux autres que les ruminants, les quantités de drêches ingérées doivent être plus faibles. Le tableau 2.5 expose les quantités de drêches recommandées dans l'alimentation de différentes espèces animales ainsi que les principales restrictions associées à la quantité maximale recommandée. (Boessinger et Hug, 2005)

Tableau 2.5 Quantités de drêches recommandées selon les espèces animales (tiré de : Boessinger et Hug, 2005)

Espèces	Quantités journalières		Emploi usuel	Restrictions principales
	Recommandées	Maximales		
Vaches laitières	5 – 8 kg	12 kg	Fraîches/ensilées	Teneur en protéine et matières grasses, structure insuffisante
Bovins en croissance	0,5 – 1,5 kg/ 100 kg poids vif	3 kg/ 100 kg poids vif	Fraîches/ensilées	Teneur en protéine
Chèvres	1 kg	2 kg	Fraîches/ensilées	Teneur en protéine
Moutons	0,5 – 1 kg	1,5 – 2 kg	Fraîches	Teneur en cuivre
Porcs	1 – 2 kg	3 kg	Fraîches	Faible digestibilité, teneur en matières grasses
Chevaux	1 – 3 kg	3 kg	Fraîches/séchées	Teneur en protéine, structure insuffisante

Les drêches peuvent être utilisées fraîches, c'est-à-dire sans transformation à la sortie du procédé de fabrication de bières ou sous forme ensilée. Lorsqu'elles sont utilisées fraîches, les drêches doivent rapidement être affouragées pour éviter la dégradation microbiologique du produit. L'été, elles devraient être utilisées dans les deux à cinq jours suivant le rejet du procédé, tandis que l'hiver, le délai peut monter à une semaine. Ainsi, l'utilisation sous forme fraîche peut amener des difficultés au niveau de l'approvisionnement en drêches et de la gestion de celles-ci. Par ailleurs, l'ensilage permet une conservation prolongée des drêches sans affecter les valeurs nutritionnelles, mais demande une technique soignée. (Boessinger et Hug, 2005; Heuzé et Tran, 2017)

La teneur élevée des drêches en matières azotées et en fibres en fait un aliment protéique très intéressant (Mussatto, 2014; Boessinger et Hug, 2005). Elles complètent bien une alimentation riche en énergie, comme celle comportant une grande proportion de maïs ensilés (Boessinger et Hug, 2005). L'inclusion des drêches de brasserie dans l'alimentation des vaches laitières augmente la production de lait, mais en diminue le contenu en matières grasses. Néanmoins, la fertilité des bovins n'est pas affectée par une alimentation en drêches (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006).

Bien que le principal sous-produit de la fabrication de bière puisse être utilisé pour l'alimentation d'espèces animales diverses, son utilisation pour d'autres espèces que les bovins est beaucoup moins fréquente. Cela semble principalement dû à la faible digestibilité des drêches et des performances de croissance moindre pour les autres espèces animales (Heuzé et Tran, 2017).

Les drêches peuvent également être intégrées dans l'alimentation humaine, notamment les pains, biscuits, pâtes, gaufres, crêpes, céréales et tortillas (Mussatto et al., 2006; Cappa et Alamprese, 2017; Fărcas et al., 2014). Cependant, les drêches ont une texture granuleuse à la sortie du procédé et il convient donc de les transformer en farine pour faciliter leur utilisation et améliorer la texture des produits finis (Lynch, Steffen, et Arendt, 2016; Fărcas et al., 2014). Pour ce faire, elles doivent donc être séchées puis moulues. Il n'y a pas de méthode fixe pour sécher et mouler les drêches. Les sécher à 60 °C pendant 48 heures dans un four à vide permet d'obtenir une teneur en eau de 3 % tandis que les sécher à 78 °C dans un four standard pendant 12 heures abaisse à 6 % l'humidité avant de les mouler (Cappa et Alamprese, 2017; Fărcas et al., 2014). Néanmoins, les drêches séchées à 100 °C et 150 °C apportent des saveurs non désirables au produit final (Mussatto et al., 2006). Le fait de sécher les drêches réduit le volume de celles-ci et ainsi facilite leur entreposage tout en augmentant leur durée de conservation (Fărcas et al., 2014). Par ailleurs, incorporer une grande quantité de farine de drêches dans les produits alimentaires peut modifier le goût du produit final. Un remplacement de 5 à 10 % de farine blanchie par de la farine de drêche donne un pain d'un goût mieux accepté qu'un autre avec 15 % de farine de drêches (Mussatto et al., 2006). Toutefois, la proportion à intégrer dépend l'effet recherché et peut grandement varier.

L'utilisation des drêches en alimentation humaine apporte plusieurs bénéfices pour la santé. Tout d'abord, les drêches sont riches en fibres, en protéines et en minéraux, ce qui augmente la valeur nutritive d'un produit fait avec celles-ci. Un ajout de 10 % de drêche dans un pain augmente le contenu en protéines totales de 50 % et celui en acides aminés de 10 %. Cet ajout permet également de doubler la quantité de fibres par rapport à un pain standard. De plus, les pains incorporant 10 % de drêches présentent environ 7 % de calories en moins. (Mussatto et al., 2006; Fărcas et al., 2014)

Parmi les acides aminés fournis par les drêches, la lysine est habituellement l'acide aminé limitant dans les différents types de céréales consommés par les humaines. La drêche en contient 14,3 % ce qui rend ce sous-produit encore plus intéressant pour augmenter la valeur nutritive d'un aliment (Fărcas et al., 2014). En outre, comme mentionnées plus tôt, les drêches possèdent aussi des propriétés antioxydantes (Fărcas et al., 2014; Mussatto, 2014). Le tableau 2.6 résume différents avantages de l'ajout de farine de drêches dans l'alimentation.

Tableau 2.6 Propriétés de la farine de drêches dans les aliments (inspiré de : Fărcas et al., 2014)

Propriétés
Facilité d'incorporation dans les mélanges
Contenu en calorie correspondant à environ la moitié de la majorité des autres farines de céréales
Grande capacité d'absorption d'eau
Fournis plusieurs minéraux important comme Ca, P, Fe, Cu, Zn et Mg
Faible absorption des lipides
Couleur brunâtre uniforme, gout peu prononcé et léger arôme de grillé
Grand contenu en fibres
Grand contenu en protéines

Grâce à ses différentes propriétés, les drêches en alimentation humaine ont plusieurs effets sur la santé. Elles peuvent diminuer les risques de certaines maladies, tels le cancer, les problèmes gastro-intestinaux, le diabète et les maladies coronariennes. Sa grande teneur en fibres permet également de prévenir la constipation, le côlon irritable, le cancer du côlon et l'obésité entre autres. (Fărcas et al., 2014)

Certaines limitations à l'utilisation des drêches en alimentation sont toutefois présentes. La couleur brunâtre des drêches fait en sorte qu'elles sont mieux acceptées dans les produits de couleur similaire ou foncée. De plus, comme mentionné plus haut, la quantité de drêches à intégrer doit être relativement faible pour ne pas modifier le gout du produit final de façon désagréable et aussi pour ne pas trop modifier la texture de celui-ci. (Mussatto et al., 2006; Lynch et al., 2016)

Au Québec, la boulangerie l'Amour du Pain de Boucherville fabrique un de ses pains avec des drêches de la microbrasserie *Boldwin* située dans la même ville (figure 2.3). Ils abordent fièrement la première lettre du nom de la microbrasserie, ce qui les transforme en objets publicitaires.

Le boulanger ne fait subir aucun prétraitement aux drêches avant leur incorporation dans le pain. Il a simplement modifié sa recette pour compenser l'humidité supplémentaire apportée par les drêches. Ce pain très demandé, constitué en partie de bière rousse et de drêches, fait maintenant partie de l'offre régulière de la boulangerie. Ainsi, l'acceptabilité de ce pain semble positive chez les consommateurs et cela pourrait ouvrir la porte à d'autres boulangeries désirant innover. (Boldwin, 2016) D'ailleurs, il s'agit d'un bel exemple de partenariat entre les deux entreprises puisque la microbrasserie donne ses drêches à la boulangerie et celle-ci assure le transport du produit dont elle a besoin. Il faut toutefois mentionner que le volume de drêches généré est bien supérieur à celui utilisé par la boulangerie. La microbrasserie *Boldwin* donne le restant de ses drêches pour d'autres projets de mise en valeur ainsi qu'à un agriculteur de la région (J.-F. Giguère, conversation téléphonique, 2 octobre 2017).



Figure 2.3 Pains *Boldwin* faits à partir de drêches (tiré de : Ouimet, 2016)

2.2.4 Production de biogaz

La production de biogaz est une alternative possible pour la mise en valeur des drêches de brasseries. Le biogaz résulte de la digestion anaérobie de la matière organique et l'ensemble du processus de transformation se nomme la biométhanisation. C'est une technique déjà fréquemment utilisée pour le traitement de matières putrescibles, comme les boues d'épuration et les autres matières organiques résiduelles (Colussi, Cortesi, Gallo et Vitanza, 2016).

Le biogaz obtenu contient environ 55 à 65 % de méthane (CH_4), 30 à 45 % de dioxyde de carbone (CO_2), de la vapeur d'eau et des traces de sulfure d'hydrogène (H_2S) (Mussatto, 2014). Pour arriver à un produit de la sorte, les drêches doivent passer par deux étapes. Premièrement, les structures fibreuses doivent être dégradées au maximum pour permettre d'obtenir un rendement maximal lors de la conversion. Cette étape d'hydrolyse est limitante et peut être effectuée de plusieurs façons. Elle peut consister en un traitement thermochimique avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) à 70 °C par exemple, un traitement mécanique, comme un concassage, ou enzymatique (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2014).

La deuxième étape consiste en la fermentation anaérobie en tant que telle avec des microorganismes acidogènes et méthanogènes. Ainsi, ces premiers convertissent les macromolécules rendues accessibles par la première étape en acides gras volatils, en acétate, en butyrate et en propionate, et ensuite les microorganismes méthanogènes convertissent ces nouvelles molécules en méthane. (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2014)

Le rendement obtenu dépend essentiellement de l'efficacité de la première étape et peut ainsi grandement varier selon le prétraitement choisi. Par exemple, une étude a obtenu un rendement de 86 % en huit jours de fermentation, tandis qu'une autre ayant utilisé un prétraitement différent a obtenu un rendement de 81 % pour une période de 15 jours (Mussatto et al., 2006; Colussi et al., 2016).

Bien que les rendements en biogaz obtenus par la biométhanisation des drêches soient assez élevés, l'application de cette méthode de mise en valeur est peu répandue (Mussatto, 2014). La faible utilisation de cette méthode de gestion des drêches s'explique par le fait que les matières ligneuses ne sont pas idéales au procédé de biométhanisation et que des prétraitements importants sont nécessaires pour obtenir une rentabilité intéressante (SOLINOV, 2009, Mussatto, 2014).

2.2.5 Substrat pour la culture de microorganismes et de champignons

La dégradation microbiologique rapide des drêches humides a permis de constater qu'elles étaient un bon substrat pour la culture de microorganismes. Ainsi, elles peuvent être utilisées pour effectuer une croissance contrôlée d'un microorganisme ou d'un champignon en particulier, comme les pleurotes. Elles favorisent la croissance de certains champignons par son grand contenu en protéines, mais aussi par sa grande humidité, la taille de ses particules, sa densité, sa porosité et sa capacité de rétention de l'eau (Mussatto et al., 2006).

Par ailleurs, pour augmenter le rendement en champignons, un amendement peut être ajouté au substrat de drêches. Il est par exemple possible d'ajouter de la paille de blé, de la sciure de bois, du son de blé ou des retailles de papiers recyclés pour fournir une source concentrée de carbone (Séon, 2017). En outre, les conditions de cultures peuvent varier selon le type de champignons ou de microorganismes recherché. À titre d'exemple, pour les pleurotes du genre *ostreatus*, l'ajout de son de blé à 45 % augmente

considérablement le rendement. En effet, l'efficacité biologique peut être optimisée par la proportion de son de blé mélangé aux drêches. Elle est de 3 % pour les drêches seules tandis qu'avec 45 % de son et 55 % de drêches, ce rendement biologique atteint 19 %. Au-delà de cette concentration en son de blé, le rendement diminue de nouveau. De plus, un ajout de gypse en faible quantité accélère la colonisation du substrat par les champignons. (Geoffrion et Marmette, s. d.)

Ainsi les drêches de brasserie peuvent être utilisées en tant que substrat pour la croissance de différents microorganismes et champignons. De plus, elles sont peu coûteuses et ne nécessitent pas de prétraitement majeur ce qui en fait un substrat de choix (Mussatto et al., 2006). En effet, le prétraitement se limite au mélange selon la proportion désirée pour la composition du substrat. L'humidité du substrat peut également être ajustée. La pasteurisation de celui-ci permet d'éviter la production de microorganismes ou champignons indésirables (Séon, 2017; Geoffrion et Marmette, s. d.).

2.2.6 Utilisation comme adsorbant

Les drêches de microbrasserie peuvent également être utilisées en tant qu'adsorbant. En effet, suite à une pyrolyse, elles deviennent un biochar de bonne capacité d'adsorption des composés organiques volatils (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006). De plus, en solution aqueuse les drêches préalablement traitées à l'hydroxyde de sodium peuvent adsorber des métaux lourds tels que du cadmium, du chrome et du plomb (Mussatto, 2014; Aliyu et Bala, 2011). Elles possèdent d'ailleurs des capacités d'adsorption similaires à la bagasse de canne à sucre, du son de blé et de la coque de noix de coco (Mussatto, 2014). Les drêches de brasserie peuvent aussi adsorber les colorants et teintures contenues dans les eaux usées. Par exemple, le colorant *acid orange 7* (AO7) utilisé dans l'industrie papetière et textile peut être adsorbé avec une capacité de 30,5 mg AO7/g de drêche à 30 °C, et ce sans aucun prétraitement de la drêche. Il s'agit donc d'une façon simple et peu coûteuse de traitement des rejets (Mussatto, 2014; Aliyu et Bala, 2011).

2.2.7 Support pour l'immobilisation cellulaire

Les drêches peuvent aussi servir à immobiliser les levures lors du procédé de fermentation et cette immobilisation s'est montrée très efficace. La fermentation avec des cellules immobilisées permet de maintenir différentes fonctions cellulaires tout en augmentant leur stabilité et leur productivité. L'utilisation d'une méthode de ce genre permettrait aux brasseurs de séparer plus facilement les levures de la bière et leur permettrait ainsi de les réutiliser pour d'autres lots. Bien que les drêches peuvent être utilisées sans prétraitement, l'utilisation d'acide chlorhydrique (HCl) ou d'hydroxyde de sodium dans le but de les délignifier améliore considérablement la capacité d'immobilisation (Mussatto et al., 2006; Mussatto, 2014). Un exemple de prétraitement serait de faire bouillir les drêches avec une solution de 1 % massique de NaOH pendant trois heures puis de bien les nettoyer avec de l'eau avant de les stériliser à l'autoclave à 120 °C pendant quinze minutes (Kopsahelis, Kanellaki et Bekatorou, 2007). Utiliser les drêches comme support

pour l'immobilisation des levures est avantageux puisqu'elles sont facilement accessibles, peu dispendieuses, naturelles, non toxiques, de qualité alimentaire, ainsi que relativement résistantes (Kopsahelis et al., 2007). D'ailleurs, elles servent de support cellulaire dans divers processus de production de molécules, non seulement pour la production de bières (Mussatto, 2014).

2.2.8 Autres utilisations

Mis à part les différentes voies de mise en valeur des drêches déjà présentées, elles servent aussi dans la fabrication de briques afin d'en augmenter la porosité et comme matière première dans la production de papier (Aliyu et Bala, 2011; Mussatto et al., 2006). Par ailleurs, plusieurs composés d'intérêt peuvent être extraits des drêches prétraitées par des méthodes chimiques ou biotechnologiques. Ainsi, il est possible d'extraire la lignine, précurseur pour une grande variété de produits, des acides férulique et *p*-coumarique aux propriétés antioxydantes recherchées dans les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, ainsi que plusieurs autres composés phénoliques présents dans les drêches (Mussatto, 2014; Aliyu et Bala, 2011). Il est également possible d'obtenir du glucose et du xylose à partir de la cellule et de l'hémicellulose de ce sous-produit d'intérêt. Le xylose fermenté conduit au xylitol, agent sucrant ayant plusieurs applications dans l'industrie alimentaire (Mussatto et al., 2006; Mussatto, 2014).

Ainsi, les drêches de brasserie peuvent être mises en valeur de nombreuses façons, passant par l'épandage dans les champs, jusqu'à l'industrie alimentaire, la production de biocarburant et d'adsorbant.

2.3 Impacts environnementaux de la mise en valeur des drêches

Les drêches de brasserie, étant une matière organique riche en nutriments, provoquent une demande biochimique en oxygène (DBO) élevée (Mathias, Mello et Sérvulo, 2014). Cette caractéristique fait en sorte que la mauvaise élimination de cette matière peut être nuisible à l'environnement. En effet, lorsque des drêches rejoignent les cours d'eau, leur décomposition provoque un amoindrissement de l'oxygène disponible dans le milieu et ainsi nuit à la faune et flore aquatique.

Par ailleurs, l'offre grandissante de drêches ainsi que le manque de proximité avec des zones agricoles peut faire en sorte que des drêches finissent leur vie dans des lieux d'enfouissement (Mussatto, 2014). Or, la décomposition de la matière dans de tels lieux entraîne la formation de lixiviat et de biogaz. Le lixiviat est un enjeu important associé aux lieux d'enfouissement, car il peut affecter la qualité du sol et des eaux et constitue une menace pour la faune et la flore (Bureau d'audiences publiques sur l'environnement [BAPE], 1995). Le méthane contenu dans le biogaz est, quant à lui, un puissant gaz à effet de serre (Olivier, 2016). Malgré le fait que le lixiviat et le biogaz soient captés, des fuites sont toujours possibles et il y a donc des impacts environnementaux associés à l'enfouissement des drêches de brasserie (BAPE, 1995). De plus, les

matières organiques seront bannies des lieux d'enfouissement québécois d'ici 2020 et il faut donc envisager des méthodes de mise en valeur pour compléter leur utilisation agricole (MDDEP, 2011).

Mis à part les processus de combustion des drêches qui peuvent causer une diminution de la qualité de l'air si les composés nocifs ne sont pas captés, les autres méthodes de mise en valeur présentées ci-haut ne semblent pas engendrer de conséquences négatives sur l'environnement. Les processus de combustion sont soit effectués dans une chaudière à biomasse ou sous la forme de briquettes de charbon de drêches. Toutefois, ces deux méthodes de mise en valeur permettent de réduire les pressions sur d'autres ressources naturelles, ce qui est positif sur le plan de l'environnement.

En effet, le réemploi, recyclage ou valorisation des drêches peut engendrer une diminution de la pression sur les ressources naturelles en remplaçant certaines matières premières par des drêches. Par exemple, l'utilisation d'une chaudière à biomasse permet de remplacer du gaz naturel par des drêches et ainsi de réduire la demande en combustible fossile. Ou encore, la fabrication de briquettes de charbon de drêches permet de réduire la quantité de celles fabriquées à partir de bois et diminue la pression sur les ressources forestières.

Par ailleurs, le transport des drêches d'un lieu à un autre engendre des émissions de gaz à effet de serre. Il est donc important de bien prendre en compte la situation géographique des microbrasseries et celles des entreprises à potentiel de mise en valeur dans le but de réduire la distance de transport. La proximité des sites de mise en valeur des drêches avec les microbrasseries permettrait de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et d'ainsi réduire l'empreinte environnementale associée à la gestion des drêches.

En outre, sur le plan environnemental, la mise en valeur des drêches permet de répondre à quatre des seize principes de la Loi sur le développement durable *du* Québec. En effet, la diminution des impacts environnementaux amenée par les différentes méthodes de mise en valeur permet de participer à la protection de l'environnement, à la préservation de la biodiversité, au respect de la capacité de support des écosystèmes et à la production et consommation responsable.

2.4 Impacts économiques de la mise en valeur des drêches

La plupart des méthodes de mises en valeur des drêches présentées précédemment ne sont pas encore adoptées à grande échelle. Ainsi, elles apportent des opportunités pour le développement de nouvelles entreprises ou pour la modification de procédés déjà existants afin qu'ils puissent recevoir les drêches comme matières premières au lieu d'une autre. Le développement et la mise en place d'entreprises de la sorte pourraient avoir des impacts économiques positifs pour le Québec. De plus, cette vision correspond à un des principes de la Loi sur le développement durable, soit celui sur l'efficacité économique qui veut

que « l'économie du Québec et de ses régions doit être performante, porteuse d'innovation et d'une prospérité économique favorable au progrès social et respectueuse de l'environnement ».

Par ailleurs, les drêches sont une matière peu dispendieuse et leur mise en valeur peut être avantageuse sur le plan économique. Par exemple, elles peuvent remplacer d'autres matières premières de coût plus élevé et ainsi augmenter la rentabilité d'un procédé. Le contrôle des coûts d'investissement pour une nouvelle entreprise de mise en valeur des drêches ou pour la modification d'un procédé existant requiert une analyse détaillée de chacun des projets. Leur rentabilité est au cas par cas.

D'ailleurs, une analyse technicoéconomique faite au Brésil pour évaluer la faisabilité de l'utilisation de drêches de microbrasserie dans une bioraffinerie pour produire différentes molécules d'intérêts, comme le xylitol, a montré des résultats intéressants. Par simulation, les chercheurs ont établi le scénario optimal qui permet l'atteinte d'une marge économique de 62,25 % tout en minimisant les impacts environnementaux et leur empreinte carbone. Ils ont ainsi montré qu'il était rentable de produire du xylitol et des acides phénoliques à partir de la drêche de brasserie. (Mussatto, Moncada, Roberto et Cardona, 2013)

Ainsi, sur le plan économique, les différentes méthodes de mise en valeur semblent intéressantes et ouvrent la voie à la production de molécules à plus grande valeur ajoutée que la simple utilisation des drêches en alimentation animale (Liguori et al., 2015).

2.5 Impacts sociaux de la mise en valeur des drêches

Du côté des impacts sociaux, plusieurs éléments sont à considérer. Tout d'abord, lorsque des drêches sont envoyées à des sites d'enfouissement, des désagréments causés par l'exploitation du site sont à prévoir, tels qu'une augmentation de la circulation routière, les bruits de la machinerie et des camions ainsi que la présence d'espèces nuisibles (BAPE, 1995).

De cette façon, la mise en valeur des drêches réduit ces impacts négatifs potentiels. De plus, le développement de nouvelles entreprises québécoises participe à une création d'emplois et favorise le marché local. Cela peut ainsi venir créer un sentiment d'appartenance au sein de la communauté. De plus, la modification de procédés utilisés dans des entreprises déjà existantes pour intégrer les drêches comme matière première peut aussi contribuer à améliorer l'image de cette entreprise et ainsi créer une certaine fierté régionale chez les Québécois et augmenter le sentiment identitaire.

En outre, l'utilisation d'une matière résiduelle organique pour la production de bioéthanol, plutôt que l'utilisation de ressources alimentaires comme le maïs, est un meilleur choix éthique à des fins de production d'énergie (Olivier, 2016; Mussatto, 2014).

Cependant, une mise en valeur des drêches par compostage en andains extérieurs peut modifier la qualité de vie des résidents du secteur limitrophe, car des odeurs associées à la dégradation des matières organiques peuvent parfois être perceptibles. En effet, lorsque la gestion des opérations et l'entretien des andains sont mal faits, il peut y avoir une perte de contrôle entre le compostage et la putréfaction, engendrant ainsi des odeurs. (RECYC-QUÉBEC, s. d.)

Dans un autre ordre d'idée, la mise en valeur des drêches pour l'alimentation humaine apporte des bénéfices au niveau de la santé des gens qui en consomment. En effet, comme affirmé précédemment, les drêches peuvent réduire les risques associés à diverses maladies et présentent une activité antioxydante bénéfique pour la santé humaine. Elles peuvent aussi aider à prévenir la constipation, le côlon irritable et d'autres troubles gastro-intestinaux. (Fărcas et al., 2014; Mussatto, 2014)

La mise en valeur des drêches permet ainsi de répondre potentiellement à deux principes de la Loi sur le développement durable. Premièrement, elle participe à la protection et à l'amélioration de la santé et de la qualité de vie des citoyens, soit en éliminant l'enfouissement des drêches et en incorporant ce produit d'intérêt dans l'alimentation humaine. Deuxièmement, elle peut contribuer à l'équité et à la solidarité sociale puisque son utilisation à la place d'une matière première alimentaire dans certains procédés permet d'améliorer des questionnements éthiques.

3. PORTRAIT GÉOGRAPHIQUE DE LA SITUATION ACTUELLE

Pour déterminer les méthodes de mise en valeur possibles pour les drêches des différentes microbrasseries québécoises, il convient de faire le portrait géographique tant de ces microbrasseries que des entreprises à potentiel de mise en valeur. Le chapitre 3 a donc pour but de déterminer le contexte géographique afin de mettre en évidence les associations possibles entre les microbrasseries et les entreprises de mises en valeur potentielles. Une estimation du volume des drêches produites par région administrative est aussi présentée.

3.1 Portrait géographique des microbrasseries québécoises

Selon les dernières statistiques de l'Association des microbrasseries du Québec, en juin 2017 il y avait 176 microbrasseries (AMBQ, 2017). C'est à partir de ces informations que le portrait géographique des microbrasseries québécoises est effectué.

Au total, la province du Québec comprend 17 régions administratives, chacune d'entre elles est numérotée pour plus de commodité. La figure 3.1 présente une carte du territoire avec les divisions des différentes régions administratives ainsi que leur nom et numéro respectif.

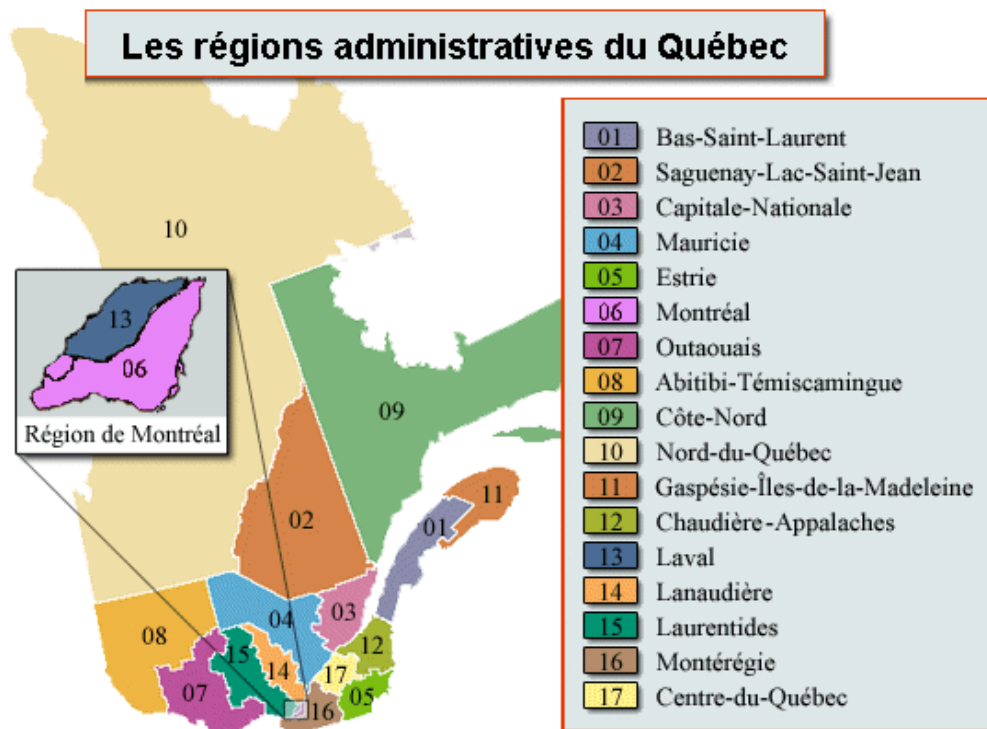


Figure 3.1 Les 17 régions administratives du Québec (tiré de : Leclerc, 2017)

Dans presque toutes ces régions administratives, une ou plusieurs microbrasseries détiennent soit un permis de fabricant industriel ou un permis de producteur artisanal. La seule région où aucun brasseur n'exerce est le Nord-du-Québec (AMBQ, 2017). Le tableau 3.1 présente la distribution de ces types de permis de

microbrasseries par région administrative. Le nombre total d'entreprises exerçant dans les régions est aussi indiqué tout comme le pourcentage par rapport à l'ensemble des microbrasseries existantes du Québec.

Tableau 3.1 Microbrasseries présentes par région administrative (inspiré de : AMBQ, 2017)

Régions administratives	Permis de producteur artisanal	Permis de fabricant industriel	Nombre d'entreprises par région	Pourcentage d'entreprises par région
Bas-Saint-Laurent (01)	2	5	7	4 %
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	3	10	13	7 %
Capitale-Nationale (03)	8	12	20	11 %
Mauricie (04)	2	9	11	6 %
Estrie (05)	3	7	10	6 %
Montréal (06)	21	15	36	20 %
Outaouais (07)	1	3	4	2 %
Abitibi-Témiscamingue (08)	1	3	4	2 %
Côte-Nord (09)	0	2	2	1 %
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	0	5	5	3 %
Chaudière-Appalaches (12)	3	4	7	4 %
Laval (13)	1	2	3	2 %
Lanaudière (14)	1	5	6	3 %
Laurentides (15)	2	11	13	7 %
Montréal (16)	7	24	31	18 %
Centre-du-Québec (17)	1	3	4	2 %

La région administrative de Montréal est celle où il y a le plus de microbrasseries soit 20 % de l'ensemble de celles du Québec. La Montérégie suit de près avec 18 % de la totalité des microbrasseries sur son territoire. Cependant, l'AMBQ a montré que ce n'est pas nécessairement dans les villes les plus peuplées qu'il y a le plus de microbrasseries. En effet, elles semblent plutôt s'établir préférentiellement dans les petites villes. La figure 3.2 montre la répartition des microbrasseries québécoises selon le nombre d'habitants par ville. Ainsi, il est possible de constater que 28 % d'entre elles sont situées dans des villes de 0 à 10 000 habitants, tandis que 24 % des entreprises sont présentes dans des villes de 20 000 à 100 000

habitants. En d'autres mots, plus de la moitié des microbrasseries québécoises a choisi de s'établir dans des villes ayant moins de 100 000 habitants. Au total, 102 microbrasseries sont réparties à travers 83 villes de ce genre. En contrepartie, dans les 11 villes québécoises les plus peuplées, soient celles ayant plus de 100 000 habitants, il y a 87 microbrasseries. (AMBQ, 2017)

Avec ces informations, il est possible de constater que les microbrasseries québécoises sont étendues sur une grande superficie du territoire et réparties dans de nombreuses villes. Il faudrait donc que les entreprises à potentiel de mise en valeur soient nombreuses et tout aussi réparties à travers le Québec afin de diminuer les distances de transport pour acheminer les drêches vers un lieu de mise en valeur.

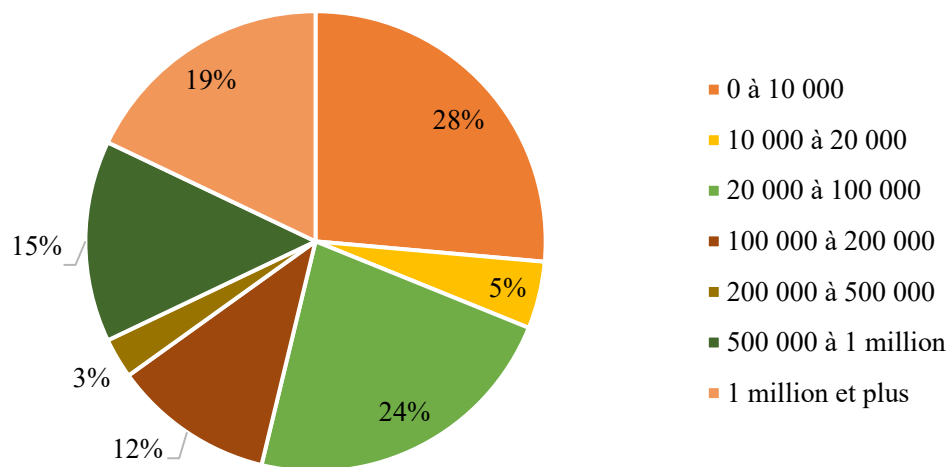


Figure 3.2 Répartition des microbrasseries selon des tranches de population des villes québécoises
(inspiré de : AMBQ, 2017)

3.1.1 Volume de drêches généré

Il peut aussi être intéressant d'estimer la quantité de drêches produites par région administrative. Pour ce faire, une étude de 2015 effectuée par l'AMBQ est utilisée. L'annexe 2 présente l'ensemble des calculs et des hypothèses effectuées pour obtenir les résultats désirés.

Ainsi, le tableau 3.2 présente les résultats des calculs et permet de mettre en évidence les régions où il y a les plus grandes quantités de drêches à gérer (en rouge) et celles où il y en a le moins (en bleu).

Tableau 3.2 Quantité de drêches produites en 2017 par région administrative

Régions administratives	Nombre d'entreprises par région	Quantité de drêches (t)
Bas-Saint-Laurent (01)	7	532
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	13	988
Capitale-Nationale (03)	20	1 520
Mauricie (04)	11	836
Estrie (05)	10	760
Montréal (06)	36	2 736
Outaouais (07)	4	304
Abitibi-Témiscamingue (08)	4	304
Côte-Nord (09)	2	152
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	5	380
Chaudière-Appalaches (12)	7	532
Laval (13)	3	228
Lanaudière (14)	6	456
Laurentides (15)	13	988
Montréal (16)	31	2 356
Centre-du-Québec (17)	4	304
Total	176	13 376

Le portrait actuel des microbrasseries québécoises démontre leur répartition sur presque la totalité du territoire de la province. Cependant, c'est dans la région administrative de Montréal qu'il y en a le plus, suivi de près par la Montérégie. La masse de drêches produites, quant à elle, varie grandement d'une région à une autre pour l'année 2017. Elle atteint son maximum à Montréal avec 2 736 t et son minimum en Côte-Nord avec seulement 152 t.

3.2 Portrait géographique des entreprises potentielles de proximité

Pour réaliser le portrait géographique des entreprises à potentiel de mise en valeur des drêches au Québec, certaines méthodes présentées dans la section 2.2 sont exclues. Celles-ci sont l'utilisation des drêches

comme adsorbant et comme support d'immobilisation cellulaire ainsi que l'ensemble de méthodes présentées dans la section 2.2.8.

3.2.1 Exclusions du portrait géographique

L'utilisation des drêches en tant qu'adsorbant ne permet pas réellement de contrer le problème associé à la gestion de ces matières résiduelles. En effet, à la suite de l'adsorption de certains composés, les drêches deviennent un déchet contaminé auquel il faut trouver une autre méthode de gestion. Ainsi, cette technique de mise en valeur permet simplement de prolonger la durée de vie du sous-produit étudié sans pour autant répondre à la problématique. Elle est donc retirée du portrait géographique des entreprises à potentiel de mise en valeur. En suivant la même logique, il est aussi possible d'éliminer la méthode d'utilisation des drêches comme support d'immobilisation cellulaire, puisque cette approche elle aussi est une prolongation de la durée de vie bien plus qu'une mise en valeur réelle.

De plus, l'ensemble des méthodes proposées dans la section 2.2.8 sont exclues du portrait, soient l'utilisation des drêches dans la fabrication de briques ou de papiers et leur utilisation pour l'obtention de molécules d'intérêt. Dans le premier cas, il s'agit d'une méthode encore peu développée qui ne semble pas montrer autant de potentiel que d'autres méthodes (Aliyu et Bala, 2011; Mussatto et al., 2006). Dans le deuxième cas, il est plus logique d'utiliser des papiers recyclés que de transformer les drêches pour leur utilisation dans la fabrication de papiers. De plus, l'industrie québécoise du recyclage peine à vendre ses matières recyclées dans la province (Blaquière, 2012). Ainsi, il n'y a pas d'avenue future pour les drêches dans cette industrie, et cette méthode de mise en valeur est exclue. Pour ce qui est de l'extraction de molécules d'intérêt, les prétraitements que les drêches doivent subir avant leur obtention sont très variables et dépendent de chacune des molécules recherchées. Il est donc très complexe d'identifier des entreprises potentielles pour ce genre de mise en valeur.

En ce qui concerne les voies de mise en valeur par l'insertion des drêches en alimentation humaine et leur utilisation comme substrat de culture, certains choix limitent la portée et l'ampleur de la recherche sur les entreprises québécoises pouvant employer ces méthodes. De cette façon, uniquement les boulangeries artisanales et les fermes de champignons sont identifiées.

Par ailleurs, l'utilisation des drêches dans les chaudières à biomasse est possible pour l'ensemble des microbrasseries québécoises.

3.2.2 Entreprises à potentiel de mise en valeur

À ce jour, la première usine québécoise de production d'éthanol cellulosique est actuellement en construction. Celle-ci, située à Varennes en Montérégie, est le fruit d'un partenariat entre GreenField, une entreprise de bioéthanol de première génération, et Enerkem, leader de mise en valeur de matières

résiduelles non recyclables. L'usine de la coentreprise formée, soit VANERCO, permettra la production d'éthanol cellulosique à partir de résidus des secteurs institutionnel, commercial et industriel (Enerkem, 2017a). Ainsi, elle pourrait permettre la mise en valeur des drêches de nombreuses microbrasseries de la région. Par ailleurs, Enerkem exploite également une usine de démonstration à Westbury en Estrie. Celle-ci pourrait potentiellement traiter une partie des drêches produites dans cette région (Enerkem, 2017b).

Pour la fabrication de charbon de drêches, deux entreprises potentielles ont été identifiées. En effet, actuellement au Québec, il y a deux entreprises de fabrication de charbon de bois qui pourraient éventuellement ajouter une étape de séchage à leur procédé afin de produire du charbon de drêches (Gagné, 2017). Tout d'abord, il y a le charbon de bois Feuille d'érable inc. Cette entreprise installée à Sainte-Christine d'Auvergne, soit dans la région de la Capitale-Nationale, semble porter une attention particulière à leur choix de matières premières (Maple leaf charcoal, 2015; ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire [MAMOT], 2010a). Elle utilise seulement le bois non valorisé des scieries locales, et ce dans une optique de développement durable (Maple leaf charcoal, 2015). Ainsi, elle pourrait souhaiter améliorer davantage son image de marque en utilisant des matières résiduelles de la région pour fabriquer un produit innovant. Ensuite, il y a l'entreprise Charbon de bois franc Basques, situé à Saint-Mathieu-de-Rieux dans le Bas-Saint-Laurent, qui pourrait aussi adapter son procédé pour la fabrication de charbon de drêches (Charbon de bois franc Basques, 2017a). Cette entreprise de plus de 35 ans met un accent particulier sur la qualité de ses produits. Ainsi, la réputation qu'elle possède déjà pourrait aider à faire connaître et valoir un nouveau type de charbon, soit celui de drêches (Charbon de bois franc Basques, 2017b).

Dans un tout autre ordre d'idée, le compostage des drêches pourrait s'effectuer aux différents sites déjà existants, soit dans des andains spécifiques pour les drêches ou bien en les séchant préalablement à leur incorporation des andains de matières mixtes. En 2015, le Québec comptait déjà 38 sites de compostages des matières organiques dont la capacité varie entre 0 à 5 000 t/an à 50 000 à 100 000 t/an (RECYC-QUÉBEC, 2015; Taillefer, 2015). Cependant, cinq de ces sites sont uniquement dédiés aux résidus marins ou aux boues de fosses septiques (RECYC-QUÉBEC, 2015). Ainsi, il reste 33 sites de compostage potentiel pour le traitement de la drêche au Québec. À cela s'ajoutent sept sites qui sont au stade de projet (RECYC-QUÉBEC, 2015). En fin de compte, il pourrait y avoir 40 lieux de compostage possible pour les drêches. Le tableau 3.3 présente la répartition de ces sites parmi les différentes régions administratives de la province. Seulement deux régions administratives ne disposent pas de site de compostage, soient la Mauricie et la Côte-Nord. Cependant, il y a un projet de site pour la Côte-Nord.

Tableau 3.3 Répartition des sites de compostage à travers le Québec (compilé de : RECYC-QUÉBEC, 2015; MAMOT, 2010b)

Régions administratives	Nombre de sites en fonction en 2015	Sites au stade de projet
Bas-Saint-Laurent (01)	5	0
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	1	0
Capitale-Nationale (03)	2	2
Mauricie (04)	0	0
Estrie (05)	3	0
Montréal (06)	3	2
Outaouais (07)	2	0
Abitibi-Témiscamingue (08)	2	1
Côte-Nord (09)	0	1
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	2	0
Chaudière-Appalaches (12)	1	0
Laval (13)	1	0
Lanaudière (14)	3	0
Laurentides (15)	4	1
Montréal (16)	1	0
Centre-du-Québec (17)	3	0
Total	33	7

En outre, les utilisations des drêches en alimentation animale et pour l'épandage dans les champs sont les méthodes habituelles de gestion de celles-ci, entre autres parce que l'agriculture est bien présente au Québec. En effet, l'Union des producteurs agricoles (UPA) réunit 12 fédérations régionales couvrant le territoire du Québec et 29 000 entreprises agricoles (UPA, 2017a). Les 12 fédérations régionales englobent l'ensemble des régions administratives (UPA, 2017b). Ainsi, les modes de gestion des drêches en agriculture sont faisables partout sur le territoire québécois.

En ce qui concerne les boulangeries artisanales, il y en a également dans toutes les régions administratives du Québec. Une étude sectorielle du domaine des boulangeries et des pâtisseries de décembre 2007 a d'ailleurs montré que la répartition régionale de ces entreprises est environ proportionnelle à la répartition

de la population. Ainsi, il y en a davantage à Montréal, en Montérégie et à Québec, que dans les autres régions. De plus, cette étude a montré que 81 % de l'ensemble des boulangeries et pâtisseries emploie moins de 10 employés. Il a aussi été estimé que le nombre total d'entreprises s'élevait entre 800 et 900. Ainsi, il y en a entre 650 et 730 boulangeries et pâtisseries artisanales (le groupe DBSF, 2007). Aux fins de cet essai, il est considéré qu'il y a des boulangeries artisanales dans chacune des régions administratives du Québec.

Pour la biométhanisation, plusieurs projets sont à venir. En effet, actuellement seulement deux sites publics sont en fonction, mais huit autres installations sont en cours de planification. Seulement 9 régions administratives sur les 16 ayant des microbrasseries ont ou auront des installations de biométhanisation. Le tableau 3.4 présente la répartition des sites actuels et à venir à travers les régions administratives de la province.

Tableau 3.4 Répartition des sites de biométhanisation à travers le Québec (compilé de : RECYC-QUÉBEC, 2015)

Régions administratives	Nombre de sites actifs en 2015	Sites au stade de projet
Bas-Saint-Laurent (01)	1	0
Capitale-Nationale (03)	0	1
Estrie (05)	0	1
Montréal (06)	0	2
Laval (13)	0	1
Montérégie (16)	0	3
Centre-du-Québec (17)	1	0
Total	2	8

Pour l'utilisation des drêches comme substrat de culture, onze champignonnières ont été identifiées dans la province. Une d'entre elles à Montréal, soit Blanc de gris, utilise déjà des drêches de brasseries pour faire son substrat. Elle permet la mise en valeur de 250 kg de marc de café et de 200 kg de drêches par semaine (Agriculture urbaine Montréal, s. d.). Cette champignonnière peut servir d'exemple pour les autres entreprises désireuses de se convertir aux drêches de brasseries comme substrat. Parmi toutes les entreprises à potentiel de mise en valeur des drêches, des modifications aux procédés ou aux installations pourraient être nécessaires pour permettre le traitement de cette matière. Par ailleurs, dans d'autres cas, une augmentation de la capacité de production et un agrandissement du site pourraient également être à prévoir.

Le tableau 3.5 présente les champignonnières québécoises selon les régions administratives.

Tableau 3.5 Répartition des champignonnières à travers le Québec

Régions administratives	Nombre de champignonnières	Nom d'entreprise
Capitale-Nationale (03)	1	Champignons Charlevoix
Estrie (05)	1	Aux Champs-Mignons
Montréal (06)	1	Blanc de gris
Outaouais (07)	2	La Pleurotière; Champignon Le Coprin
Laurentides (15)	1	Violon et Champignon
Montréal (16)	5	Mycocultures; La Champignonnière; Mycotrophe; Champag; Produits Maty
Total	11	N/A

3.3 Association entre les microbrasseries et les entreprises selon la région géographique

Maintenant que les portraits géographiques des microbrasseries et des entreprises à potentiel de mise en valeur sont faits, il faut mettre en évidence les liens entre eux. L'annexe 3 présente l'ensemble des modes de gestion des drêches possibles pour chacune des régions administratives ainsi que la quantité annuelle de drêches à mettre en valeur. Le tableau 3.6 ci-dessous résume, quant à lui, le nombre total d'entreprises à potentiel de mise en valeur par région. Il faut cependant noter que le nombre d'entreprises agricoles, ainsi que de boulangeries artisanales n'est pas comptabilisé à cause de leur présence en nombre considérable dans chacune des régions. De plus, deux totaux sont exposés. Le premier ne prend pas en considération l'installation possible d'une chaudière à biomasse dans chacune des microbrasseries, tandis que le deuxième le comptabilise. Le ratio du nombre d'entreprises par rapport au nombre de microbrasseries est présenté en pourcentage.

La région comportant le plus d'installations de traitement de drêches est la Montérégie, suivie de Montréal, de la Capitale-Nationale et du Bas-Saint-Laurent, avec respectivement 10, 8, 7 et 7 installations. Ces trois premières régions génèrent les plus grandes quantités de drêches et sont identifiables en rouge dans le tableau 3.6. Ainsi, il était espéré que ce soit également celles avec le plus de méthodes de traitement possible et c'est le cas. Néanmoins, malgré le nombre important d'entreprises présentes, les ratios par rapport aux microbrasseries ne sont pas les plus élevés dans ces régions. En effet, l'Outaouais et le Bas-Saint-Laurent ont un ratio de 100 % du nombre d'entreprises sur le nombre de microbrasseries. Cela laisse croire que potentiellement l'entièreté des drêches pourrait être mise en valeur à travers les entreprises visées. En

opposition, la Mauricie ne possède aucune installation de mise en valeur. Cette région doit donc compter sur les entreprises agricoles ou les boulangeries, non comptabilisées dans le tableau, pour mettre en valeur les drêches ou installer une chaudière à biomasse à même les microbrasseries. Le Saguenay-Lac-Saint-Jean et Chaudière-Appalaches possèdent également de faibles ratios entreprises / microbrasseries, soit 8 et 14 %.

Tableau 3.6 Distribution régionale des entreprises à potentiel de mise en valeur

Régions administratives	Nombre de microbrasseries	Tonnes de drêches par an	Total sans les chaudières à biomasse	Ratio entreprises / microbrasseries (%)	Total
Bas-Saint-Laurent (01)	7	532	7	100	14
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	13	988	1	8	14
Capitale-Nationale (03)	20	1520	7	35	27
Mauricie (04)	11	836	0	0	11
Estrie (05)	10	760	6	60	16
Montréal (06)	36	2736	8	22	44
Outaouais (07)	4	304	4	100	8
Abitibi-Témiscamingue (08)	4	304	3	75	7
Côte-Nord (09)	2	152	1	50	3
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	5	380	2	40	7
Chaudière-Appalaches (12)	7	532	1	14	8
Laval (13)	3	228	2	67	5
Lanaudière (14)	6	456	3	50	9
Laurentides (15)	13	988	6	46	19
Montréal (16)	31	2356	10	32	41
Centre-du-Québec (17)	4	304	4	100	8
Total	176	13376	65	37	241

Avec la méthodologie employée et à travers les résultats, deux limitations importantes sont toutefois présentes. Premièrement, une microbrasserie d'une région pourrait bénéficier des installations de traitement des drêches d'une région voisine, ce qui n'est pas pris en considération dans le tableau 3.6. Ainsi, il se pourrait très bien que des drêches de la région de la Montérégie soient traitées en Estrie par exemple.

Deuxièmement, il se peut qu'une seule installation ait une capacité de traitement supérieure à deux ou plusieurs autres installations. Le ratio entreprises / microbrasseries est à titre indicatif, car il ne prend pas en compte cet élément.

4. ANALYSE MULTICRITÈRE

Le chapitre 4 consiste en une analyse multicritère, orienté dans le cadre du développement durable, qui permet de mettre de l'avant les entreprises à potentiel de mise en valeur qui devraient être priorisées pour le traitement de la drêche. Pour ce faire, la méthodologie sera détaillée et les résultats seront interprétés.

4.1 Méthodologie

L'utilisation d'un outil d'aide multicritère à la décision permet de répondre à un problème complexe en évaluant la performance de plusieurs critères spécifiques à des variantes de projet. Dans le cas présent, ce type d'outil permet de prioriser les méthodes de mise en valeur des drêches retenues les unes par rapport aux autres selon des critères qui s'inscrivent dans le cadre du développement durable.

L'ajout d'une pondération dans une analyse multicritère permet d'assigner un degré d'importance aux critères choisis en tenant compte des préoccupations des parties prenantes. Les valeurs, quant à elles, sont attribuées aux différentes méthodes de mise en valeur retenues en fonction des critères évalués. Le tableau 4.1 présente la définition de chacune des cotes possibles, tant pour la pondération que pour les valeurs.

Tableau 4.1 Description des différentes notes attribuées aux pondérations et aux valeurs

Type d'appréciation	Note	Signification
Pondération	1	Le critère est souhaitable dans la prise de décision.
	2	Le critère est important dans la prise de décision.
Valeur	1	Le critère est défavorable au choix de la méthode.
	2	Le critère est peu favorable au choix de la méthode.
	3	Le critère est favorable au choix de la méthode.
	4	Le critère est très favorable au choix de la méthode.

Le système de pointage utilisé dans le cas présent ainsi que les significations qui y sont associées sont inspirés de la cotation utilisée dans l'essai de Sara Atouk (2013). Ainsi, la pondération indique si le critère évalué est un élément souhaitable ou important dans la prise de décision par rapport à la priorisation des méthodes de mise en valeur des drêches. Par ailleurs, les valeurs, notées de 1 à 4, indiquent si le critère évalué est défavorable au choix de la méthode, peu favorable, favorable ou très favorable.

Aucune cotation négative ou nulle n'est attribuée tant dans la pondération que pour les valeurs. Premièrement, il ne serait pas logique d'attribuer la note zéro ou une note négative pour la pondération, car tous les critères sont minimalement souhaitables et appellent au minimum la cote 1. Deuxièmement, il est

impossible qu'un critère n'ait aucune influence sur le choix de la méthode, ni favorable ni défavorable. L'attribution d'une cote de zéro pour une valeur ne serait donc pas logique, et une échelle positive de 1 à 4 est plutôt utilisée.

4.1.1 Explication des critères et de leur pondération

Douze critères ont été identifiés pour effectuer la priorisation des méthodes de mise en valeur des drêches. Ces critères sont répartis parmi les trois sphères du développement, soit la sphère environnementale, la sphère sociale et la sphère technicoéconomique qui en ont respectivement cinq, trois et quatre. Le tableau 4.2 présente l'ensemble des critères évalués et leur pondération respective.

Tableau 4.2 Critères évalués dans l'analyse multicritère

Critères		Pondération
1. Environnementaux	1.1 Respect de la hiérarchisation des 3RV	1
	1.2 Pollution associée à la méthode de mise en valeur	2
	1.3 Émissions de gaz à effet de serre (GES) liées au transport	1
	1.4 Consommation énergétique du traitement	2
	1.5 Diminution de la pression sur d'autres ressources	1
2. Sociaux	2.1 Acceptabilité sociale	2
	2.2 Produit bénéfique pour la société	1
	2.3 Cohésion sociale	1
3. Technicoéconomiques	3.1 Produit à valeur ajoutée	1
	3.2 Coûts d'investissement	2
	3.3 Frais d'exploitation	2
	3.4 Capacité de traitement	1

Dans la sphère environnementale, le critère 1.1 évalue les méthodes selon leur respect de la hiérarchie des 3RV. Toutefois, dans ce travail, il n'est pas question de la réduction à la source, soit le premier R. Une méthode qui permet le réemploi des drêches est donc considérée comme très favorable, tandis qu'une autre, qui permet le recyclage est favorable. Par ailleurs, une méthode qui effectue de la valorisation est jugée comme étant peu favorable à son choix. Afin de pouvoir bien évaluer ce critère, il faut connaître les définitions du réemploi, du recyclage et de la valorisation. Le réemploi consiste à réutiliser le produit sans en effectuer de grandes modifications et sans transformation. Le recyclage, quant à lui, fait la transformation vers un nouveau produit. Puis, la valorisation correspond aux autres formes de mise en valeur, comme la production d'énergie (MDDELCC, 2005). Par ailleurs, le respect de hiérarchie des 3RV est souhaitable dans

le choix de la prise de décision, et non pas importante, car il ne s'agit pas d'un élément critique. En effet, autant le réemploi que le recyclage et les autres formes de valorisation permettent de détourner les drêches des sites d'enfouissement et d'en faire une meilleure gestion.

Le critère 1.2, soit celui de la pollution associée à la méthode de mise en valeur, prend en considération autant la pollution atmosphérique que celle des sols ou de l'eau qui pourraient résulter du traitement des drêches. Ce critère a une pondération de 2, c'est-à-dire qu'il est important pour la décision de la méthode à prioriser. En effet, il ne serait pas logique d'effectuer une valorisation des drêches par une méthode qui nuit davantage à l'environnement que l'enfouissement des matières organiques.

Ensuite, les émissions de GES lors du transport des drêches vers les lieux de traitement sont évaluées par le critère 1.3. Ce choix repose sur l'hypothèse des distances : plus il y a d'entreprises à potentiel de mise en valeur, moins grande serait la distance de transport vers une entreprise de ce type. Cependant, la valeur attribuée selon ce raisonnement possède une incertitude, puisqu'elle ne prend pas directement en compte le portrait géographique par région administrative. Pour cette raison, le critère est pondéré à 1, soit souhaitable. De cette façon, les émissions de GES sont considérées dans la priorisation des méthodes, mais influencent de façon nuancée les résultats.

Le critère 1.4 concerne, pour sa part, la consommation énergétique nécessaire pour le traitement des drêches. Une plus faible consommation est recherchée afin de réduire l'empreinte environnementale du traitement. Ce critère est considéré comme important et a donc une pondération de 2. En effet, une grande consommation énergétique peut nuire à l'environnement par l'utilisation de ressources non renouvelable pour produire de la chaleur par exemple.

Le dernier critère de la sphère environnementale, soit le 1.5, évalue si la méthode de traitement des drêches permet de diminuer la pression sur d'autres ressources. Dans le cas où une méthode permet de réduire la pression sur des ressources non renouvelables, elle devient très favorable à ce choix. Par ailleurs, un traitement qui réduit la pression sur des ressources renouvelables favorise son choix. Il s'agit d'un critère souhaitable, car il a un impact indirect sur l'environnement.

Maintenant, dans la sphère sociale, le critère 2.1 évalue l'acceptabilité sociale. Il renvoie à la nature d'un projet en tant que tel et aux nuisances qu'une méthode de traitement peut engendrer envers le voisinage et la population. Il peut s'agir d'impacts visuels, de dégagements d'odeurs désagréables ou de bruits. Ainsi, une méthode de mise en valeur qui risque d'affecter la qualité de vie des citoyens de façon majeure est considérée comme défavorable. Le critère 2.1 est considéré comme important dans la prise de décision, car un projet qui n'a pas d'acceptabilité sociale peut grandement être compromis. Ainsi, toute méthode de traitement des drêches doit prioriser cet aspect.

Le deuxième critère de la sphère sociale soit le 2.2 évalue si les méthodes étudiées permettent de produire quelque chose de bénéfique à la société. Une méthode qui engendre un produit bénéfique directement accessible aux citoyens est considérée comme très favorable, tandis qu'une méthode qui n'en engendre aucun est défavorable à sa sélection. De plus, une méthode qui permet l'accès à un produit bénéfique à un nombre très limité de personnes est considérée comme peu favorable, et une méthode qui en offre l'accès à un nombre modéré est favorable. Il est souhaitable de prendre ce critère en considération dans la prise de décision et il est donc pondéré à 1.

Le critère 2.3, dernier de l'aspect social, évalue la cohésion sociale qu'une méthode de traitement des drêches peut apporter au sein d'une communauté. Cette cohésion permet d'augmenter le sentiment d'appartenance des citoyens à un territoire ou une région donnée et participe indirectement à l'amélioration de la qualité de vie d'une collectivité. Plus une méthode de mise en valeur permet de développer un réseau de soutien et d'entraide au sein d'un groupe, plus elle favorise la cohésion sociale et plus elle est favorable à son choix. Il s'agit d'un critère pondéré à 1, soit souhaitable, à prendre en compte dans la prise de décision.

Pour la sphère technicoéconomique, le critère 3.1 permet de prioriser les méthodes de mise en valeur des drêches qui génèrent un produit à valeur ajoutée. Ces méthodes convertissent une matière résiduelle en produit avec une valeur économique supérieure. Plus le produit généré est de valeur ajoutée, plus cela favorise le choix de la méthode correspondante. Ce critère est souhaitable pour la prise de décision, mais n'est pas important, puisque la valeur des produits peut grandement varier dans le temps et selon les marchés.

Le critère 3.2 concerne les coûts d'investissement pour la mise en œuvre des méthodes de traitement. Il s'agit d'une estimation qualitative des coûts nécessaires pour la modification d'un procédé ou des infrastructures déjà en place pour permettre la mise en valeur des drêches. Les coûts d'achat de nouveaux équipements sont aussi inclus dans ce critère. Ainsi, plus les coûts sont élevés, plus cela est défavorable au choix de la méthode. Le critère a une pondération de 2 et est considéré comme important dans la décision, car il s'agit d'un élément critique pouvant affecter directement la faisabilité du projet.

Les frais d'exploitation sont quant à eux évalués au critère 3.3. Dans ces coûts sont inclus la main-d'œuvre et l'entretien nécessaire au bon déroulement de la méthode de mise en valeur des drêches, ainsi que les coûts énergétiques. Comme pour le critère 3.2, plus les coûts sont élevés, moins la méthode est favorable. De plus, avec la même logique que le critère 3.2, la pondération associée aux frais d'exploitation est de 2.

Le dernier critère évalué est le 3.4 et concerne la capacité de traitement des différentes méthodes. Celle-ci est évaluée en considérant un seul site de traitement ou une seule installation. Une grande capacité de traitement de drêches favorise le choix de cette méthode par rapport à une autre qui peut n'en traiter que très peu. Il s'agit d'un critère souhaitable dans la prise de décision. Il ne peut pas être considéré comme

important, car il ne prend pas directement en considération la quantité de sites offerts par région administrative et il y a donc une incertitude d'associée.

4.2 Évaluation multicritère de neuf méthodes

L'ensemble des douze critères choisis permet une analyse qui considère plusieurs éléments répartis dans les trois sphères du développement durable. Les valeurs doivent maintenant être attribuées à chacun des critères, et ce pour chacune des neuf méthodes. Cette section présente ces éléments.

4.2.1 Production de bioéthanol

La production de bioéthanol à partir des drêches consiste à convertir les sucres de ces résidus en éthanol par une fermentation effectuée par des levures. Pour ce faire, les drêches doivent subir un prétraitement qui permet d'éliminer la lignine et de transformer les sucres complexes de la cellulose en sucres simples accessibles aux microorganismes. Selon les définitions énoncées précédemment, la production de bioéthanol est donc considérée comme du recyclage. Elle a donc une valeur de 3 pour le critère 1.1. En ce qui concerne le critère 1.2, soit la pollution associée à la méthode de traitement, il est peu favorable au choix de la méthode. Bien qu'il s'agisse d'une méthode qui se déroule dans une usine et que les aspects environnementaux associés à la pollution sont généralement bien contrôlés, la production de bioéthanol à partir de drêches génère des matières résiduelles importantes. En effet, après la fermentation, des résidus ligneux et cellulotiques sont encore présents et nécessitent une gestion tout comme des résidus de levures. La valeur attribuée est donc de 2. Par ailleurs, le critère 1.3 des émissions de GES liées au transport est évalué à 1, donc défavorable, puisqu'au Québec seulement deux entreprises ont le potentiel de produire du bioéthanol à partir des drêches. La distance de transport entre les microbrasseries et ces deux sites est importante. Le critère 1.4 de la consommation énergétique est peu favorable (2) au choix de la méthode puisqu'il s'agit d'un procédé relativement complexe par rapport à d'autres méthodes proposées. Toutefois, la production de bioéthanol à partir de matières lignocellulosiques, comme les drêches, permet de réduire la pression sur les ressources alimentaires habituellement utilisées et également sur les carburants fossiles en diminuant leur consommation. Le critère 1.5 est très favorable (4) au choix de la méthode.

L'acceptabilité sociale associée à cette méthode est bonne, puisque c'est plus éthique d'utiliser des matières résiduelles que des ressources alimentaires pour la production de bioéthanol. De plus, une usine de ce type ne produit pas de nuisance particulière. Le critère 2.1 est évalué à 3. En outre, le bioéthanol est principalement utilisé par la population de façon indirecte, incorporé à 5 % dans l'essence automobile. Le critère 2.2 a donc une valeur de 3. Ce type de projet favorise aussi la cohésion sociale en créant un sentiment de fierté et d'appartenance. De plus, il permet une relation entre les microbrasseurs, les gestionnaires en environnement et les entreprises de bioéthanol en tant que telles. Le critère 2.3 est favorable (3) au choix de cette méthode de mise en valeur.

Du côté économique, le bioéthanol permet de transformer les drêches en produit à valeur ajoutée. Ce critère est très favorable et a une valeur de 4. Cependant, les coûts d'investissement nécessaires pour modifier les procédés déjà en place en ajoutant un processus de prétraitement sont peu favorables (2) à la sélection de cette méthode en priorité. Le critère 3.3 concernant les frais d'exploitation a une valeur de 3, car bien que de la main-d'œuvre qualifiée soit nécessaire pour faire fonctionner une usine de la sorte, l'utilisation de drêches par rapport à des ressources alimentaires permet d'économiser des coûts sur les matières premières. De plus, des coûts sont à prévoir pour l'entretien des équipements et la consommation énergétique. Dans l'ensemble, la capacité de traitement d'un site de production de bioéthanol est favorable et le critère 3.3 a une valeur de 3.

4.2.2 Combustion dans une chaudière à biomasse

La combustion des drêches dans une chaudière à biomasse sur le site de la microbrasserie est considérée comme de la valorisation et ainsi le critère 1.1 a une valeur de 2, soit peu favorable. Par ailleurs, comme mentionnée dans la section 2.2.1, la combustion de ce sous-produit engendre l'émission de gaz précurseurs acides. La pollution associée à cette méthode de mise en valeur est peu favorable (2) à son choix dû à l'émission de ces gaz. Toutefois, étant donné que cette méthode peut être mise en œuvre à même les microbrasseries, aucun transport des drêches n'est nécessaire. Pour cette raison, le critère 1.3 associé à cet aspect a une valeur de 4, soit très favorable. En ce qui concerne la consommation énergétique, les drêches doivent être séchées avant leur combustion et cette étape est connue pour être très énergivore. Par contre, il n'y a pas de procédé complexe associé à cette méthode. Le critère 1.4 est donc évalué à 3. La combustion des drêches dans une chaudière permet de réduire la pression sur des ressources non renouvelables généralement employées dans une chaudière standard. Le critère 1.5 traitant cet aspect est très favorable au choix de cette méthode.

Dans la sphère sociale, l'emploi d'une chaudière à biomasse ne cause pas de nuisance à la population. En effet, puisqu'elle est directement à la microbrasserie, elle ne cause pas d'impact visuel supplémentaire. De plus, cette méthode ne cause pas de nuisance sonore. L'acceptabilité sociale attendue est donc grande et le critère 2.1 a une valeur de 4. Dans un autre ordre d'idée, la mise en valeur des drêches par l'utilisation d'une chaudière à biomasse n'engendre pas de produit bénéfique pour la société et ne favorise pas réellement la cohésion sociale, car tout se fait à même la brasserie. De cette façon, les critères 2.2 et 2.3 sont respectivement défavorables (1) et peu favorables (2) au choix de cette méthode.

La production d'énergie qui résulte de cette méthode apporte une certaine valeur ajoutée aux résidus de drêches. Le critère 3.1 est favorable (3) par rapport au choix de cette méthode. Le critère 3.2 évaluant les coûts d'investissement a pour sa part une valeur de 2, car l'achat d'un équipement de séchage est nécessaire, tout comme l'achat d'une chaudière à biomasse ou la modification d'une chaudière standard. Les frais

d'exploitation traités par le critère 3.3 sont favorables (3) au choix de la méthode, car cette dernière ne nécessite pas de main-d'œuvre particulière, mais possède néanmoins des coûts énergétiques non négligeables. Finalement, la capacité de traitement d'une chaudière à biomasse est jugée suffisante pour gérer l'ensemble des drêches d'une microbrasserie et est ainsi très favorable (4) au choix de la méthode.

4.2.3 Fabrication de charbon de drêches

La fabrication de charbon de drêches, ou biochar, consiste à les sécher puis à les carboniser dans un environnement faible en oxygène. Les conditions de chaleur extrême et un faible niveau d'oxygène permettent d'éviter la combustion des drêches et d'en faire plutôt la pyrolyse (Mussatto, 2014; Mussatto et al., 2006). La fabrication de charbon de drêches, qui nécessite une transformation importante, correspond au troisième R des 3RV, soit le recyclage. La valeur du critère 1.1 est donc de 3. Par ailleurs, la pollution attendue par ce type de procédé n'est pas très importante, et le critère 1.2 est également favorable (3) au choix de cette méthode de mise en valeur. Par contre, tout comme pour la production de bioéthanol, il y a seulement deux sites potentiels au Québec de fabrication de charbon de drêches. Le transport des drêches s'effectue alors sur de grandes distances et le critère 1.3 associé aux émissions de GES lors du transport est défavorable (1) à cette option de mise en valeur. Le critère 1.4 est également défavorable (1) pour le choix de cette méthode, car il y a tout d'abord un prétraitement énergivore de séchage des drêches, puis une étape de carbonisation qui s'effectue à très haute température et qui nécessite beaucoup d'énergie. Cependant, l'utilisation de drêches pour ce processus permet de réduire la pression sur les ressources forestières généralement employées pour la fabrication de charbon. De cette façon, le critère 1.5 a une valeur de 3.

Par ailleurs, un site de fabrication de charbon de drêches n'affecte pas négativement l'acceptabilité sociale et le critère 2.1 a donc une valeur de 3. Pour le critère 2.2 qui évalue s'il y a un produit bénéfique pour la société engendré par la méthode de mise en valeur, la valeur attribuée est de 4. En effet, les briquettes de charbon de drêches fabriquées deviennent un nouveau produit accessible directement à la population. Le critère 2.3 a pour sa part une valeur de 3, soit favorable, et ce parce qu'une cohésion est nécessaire entre les microbrasseurs, les gestionnaires en environnement et les producteurs de charbon de drêches. De plus, l'utilisation de drêches plutôt que du bois peut faire en sorte que les citoyens de la région développent un sentiment de fierté.

La transformation des drêches en charbon de drêches ajoute une valeur importante à cette matière résiduelle. Pour cette raison, le critère 3.1 est très favorable (4) au choix de cette méthode. De plus, les coûts attendus de modifications du procédé standard, soient les coûts d'investissement évalués en 3.2, ne sont pas très importants, car ils sont principalement associés à l'achat d'un équipement de séchage des drêches considérant que les deux entreprises visées ici possèdent déjà des unités de pyrolyse. La valeur attribuée à ce critère est de 3, soit favorable. Par contre, les frais d'exploitation de ce traitement sont plus élevés, car la

demande énergétique est majeure. Le critère 3.3 est donc défavorable (1) à la priorisation de cette méthode. Néanmoins, la capacité de traitement d'un site de fabrication de charbon de drêche est jugée comme étant relativement importante et le critère 3.4 est donc favorable (3) au choix de cette méthode.

4.2.4 Épandage dans les champs

L'étude effectuée en 2013 par SOLINOV considère l'épandage en champs comme du recyclage, en conformité avec la classification du MDDELCC. L'approche réglementaire actuelle en fait une matière résiduelle fertilisante (MRF) pour laquelle des règles de qualité sont imposées par le ministère.

Aux fins de l'analyse dans cet essai, il est plutôt classé ici comme du réemploi. En effet, pour pouvoir bien comparer les méthodes, les définitions des 3RV précédemment données sont utilisées. Or, selon celles-ci, le critère 1.1 obtient alors une valeur de 4. Par ailleurs, il s'agit d'une méthode qui n'engendre pas vraiment de polluants. En effet, les drêches sont simplement épandues, et ce sans prétraitement. Le critère 1.2, qui concerne la pollution associée à la méthode de mise à valeur, est très favorable (4) au choix de celle-ci. De plus, le portrait géographique a montré qu'il y avait un nombre très important d'entreprises agricoles au Québec. Il y en a d'ailleurs dans toutes les régions administratives de la province. La distance de transport attendue entre les microbrasseries et les champs est courte et le critère 1.3 évaluant les émissions de GES du transport des drêches est aussi très favorable (4) à la priorisation de l'épandage parmi les méthodes de mise en valeur. Par ailleurs, comme mentionné précédemment, aucun prétraitement n'est nécessaire avant l'épandage des drêches. La seule consommation énergétique provient du camionnage et de la machinerie employée lors de l'épandage qui survient quelques fois par année. Le critère 1.4 a donc une valeur de 4, soit très favorable, puisque la consommation totale est faible. Malgré plusieurs points positifs sur le plan de l'environnement, l'épandage des drêches ne permet pas de réduire la pression sur d'autres ressources. Pour cette raison, la valeur du critère 1.5 est de 2.

Du côté social, le critère 2.1, qui évalue l'acceptabilité sociale, est considéré comme très favorable (4) au choix de la méthode. En effet, l'épandage des drêches dans les champs ne cause pas de nuisance particulière à la population. Cependant, cette méthode de mise en valeur est moins performante pour le critère 2.2 qui a une valeur de 2. Cela s'explique par le fait qu'aucun produit bénéfique à la société n'est engendré par cette méthode. Il y a seulement des bénéfices directs pour l'agriculteur. En ce qui concerne la cohésion sociale, il doit y avoir une relation directe entre les agriculteurs qui utilisent les drêches et les microbrasseries qui les fournissent. Ainsi, le critère 2.3 est très favorable (4) au choix de la méthode.

La valeur monétaire associée aux drêches destinées à l'épandage est faible. Il n'y a pas de réelle valeur ajoutée. Le critère 3.1 est donc peu favorable (2) pour la sélection de cette méthode. Toutefois, il s'agit d'une technique qui ne nécessite pas de coûts d'investissement particuliers, car les agriculteurs possèdent

déjà la machinerie nécessaire, ni de coûts importants d'opération. Pour ces raisons, les critères 3.2 et 3.3 sont très favorables (4). La capacité de traitement par cette méthode, soit le critère 3.4, est relativement limitée, puisque l'épandage ne se fait qu'à certaines périodes dans une année. La valeur attribuée est donc de 2.

4.2.5 Compostage

Le compostage des drêches est, de la même manière que l'épandage, considéré comme du recyclage par le MDDELCC. Cette classification est aussi retenue dans cet essai. Le critère 1.1 a une valeur de 3. Lors de cette méthode de mise en valeur des drêches, une contamination des eaux et des sols par du lixiviat peut avoir lieu. Des fuites ou des problèmes d'étanchéité des systèmes peuvent causer cette pollution et le critère 1.2 a une valeur de 2, donc peu favorable au choix de la méthode. Par ailleurs, le Québec dispose de nombreux sites de compostage potentiels, soit 40. La plupart d'entre eux effectuent cette transformation en andains sur une plateforme imperméable qui capture le lixiviat, puis l'achemine à une station de traitement des eaux usées. Le critère 1.3 associé aux émissions de GES lors du transport des drêches est favorable (3) puisque la distance à parcourir doit être relativement courte. La consommation énergétique, critère 1.4, est peu favorable (2) au choix de la méthode, car de l'énergie est nécessaire pour la machinerie nécessaire aux retournements des andains et pour le traitement du lixiviat. Pour le critère 1.4, il n'y a pas de diminution de la pression sur des ressources non renouvelables ou renouvelables. Le compost est généralement fait à partir de matières résiduelles. La valeur du critère est de 2.

En ce qui a trait à l'acceptabilité sociale, le compostage ne performe pas très bien, car des odeurs désagréables peuvent survenir en cas de perte de contrôle de la réaction. De plus, étant donné que les drêches ont une grande teneur en humidité, la putréfaction de la matière peut survenir si les manipulations des andains sont inadéquates. Le critère 2.1 a donc une valeur de 2. Par ailleurs, le compost est un produit qui peut être donné et utilisé par les citoyens de la société, ou bien vendu à faibles coûts à des agriculteurs et aménageurs. Le critère 2.2 est très favorable (4) au choix de la méthode. En outre, pour la cohésion sociale, critère 2.3, elle est favorable pour le choix du compostage (3), car les microbrasseurs, les gestionnaires en environnement et les gestionnaires de site de compostage doivent tous interagir entre eux.

Dans la sphère technicoéconomique, le compost apporte une certaine valeur ajoutée aux drêches, mais pas de façon aussi importante que d'autres produits. Le critère 4.1 a ainsi une valeur de 3. Des coûts d'investissement sont aussi à prévoir pour l'agrandissement potentiel de sites de compostage déjà existants afin de pouvoir y traiter les drêches. Le critère 4.2 évaluant ces coûts possède une valeur de 3. Le compostage des drêches engendre des frais d'exploitation associés à la machinerie utilisée, mais aussi pour l'achat d'agent de remplissage. Une valeur de 3 a été attribuée au critère 4.3 puisque les coûts prévus demeurent tout de même plus faibles que dans d'autres cas. Pour la capacité de traitement des drêches offerte à un site

de compostage, elle est jugée comme peu favorable (2) au choix de la méthode. La difficulté technique influence à la baisse ce critère, tout comme le fait que les sites de compostage ne pourront pas cesser de composter les matières organiques domestiques pour autant. Ainsi, ce n'est pas l'entièreté d'un site qui peut être consacré au compostage des drêches. En comparaison, plusieurs autres méthodes peuvent complètement changer les matières premières de leur procédé pour des drêches comme dans le cas de la production de bioéthanol.

4.2.6 Utilisation en alimentation animale

L'utilisation des drêches en tant qu'aliment pour les animaux est une forme de réemploi. Le critère 1.1 est évalué à 4, car cette méthode respecte la priorisation des 3RV. De plus, elle n'engendre pas de pollution et le critère 1.2 est très favorable (4) à la sélection de cette méthode de mise en valeur des drêches. Comme pour l'épandage dans les champs, la valeur du critère 1.3 est de 4 puisqu'il y a beaucoup d'entreprises agricoles au Québec, ce qui favorise une plus faible distance de transport des drêches et moins d'émissions de GES. Par ailleurs, la consommation énergétique du traitement, critère 1.4, est très faible puisqu'il n'y a pas de traitement majeur à faire aux drêches avant qu'elles soient utilisées comme nourriture pour le bétail. Une valeur de 4 est donc attribuée à ce critère. Pour ce qui est de la diminution de la pression sur d'autres ressources, l'utilisation des drêches permet de remplacer des ressources renouvelables, comme diverses herbes, du foin ou du maïs, dans l'alimentation animale. Le critère 1.5 est favorable (3) au choix de la méthode.

Du point de vue de l'acceptabilité sociale, l'utilisation des drêches en alimentation animale est courante et ne cause aucun souci. Le critère 2.1 est donc très favorable (4). Par contre, cette méthode de mise en valeur n'engendre pas de produit bénéfique à la société, mais seulement aux agriculteurs. Pour cette raison, le critère 2.2 a une valeur de 2. Pour le critère de la cohésion sociale, soit le 2.3, la même logique que celle appliquée pour l'épandage des drêches en champs s'applique et la valeur attribuée est de 4.

Dans la sphère économique, le critère 4.1 évalue si la méthode de traitement apporte une valeur ajoutée aux drêches. Dans le cas de leur utilisation en alimentation animale, les drêches ont une certaine valeur ajoutée, puisqu'elles deviennent de la nourriture, mais cette valeur ajoutée n'est tout de même pas très importante. Le critère 4.1 est donc favorable (3) à la sélection de la méthode. Par ailleurs, comme mentionnée précédemment, cette méthode de mise en valeur est fréquemment utilisée et, pour cette raison, les coûts d'investissement attendus sont très faibles. Le critère 3.2 a une valeur de 4. Pour le critère 3.3, peu de frais d'exploitation sont attendus, car il s'agit d'une méthode simple. Uniquement des coûts associés à l'utilisation de machineries sont prévus et la valeur attribuée au critère est de 4. La capacité de traitement des drêches par cette méthode est assez bonne puisque les élevages comportent plusieurs animaux et que ceux-ci peuvent

ingérer des quantités journalières plus ou moins importantes de drêches selon l'espèce. La valeur du critère 3.4 est de 3.

4.2.7 Utilisation dans les boulangeries artisanales

Pour les critères environnementaux associés à une mise en valeur des drêches dans des pains produits en boulangeries artisanales, les valeurs attribuées sont toutes les mêmes que celles de l'utilisation des drêches en alimentation animale, soit 4, 4, 4, 4 et 3 pour les critères 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 et 1.5 respectivement. Ces valeurs se justifient de la même façon que celles de la section 4.2.6.

Du côté de la sphère sociale, l'acceptabilité est évaluée comme favorable (3) au choix de la méthode. Certaines personnes peuvent avoir une réticence à manger du pain confectionné à partir de drêches et c'est pourquoi le critère 2.1 n'a pas une valeur de 4. Par contre, le critère 2.2 a, quant à lui, la valeur la plus élevée, soit 4, puisque les pains faits à partir de drêches sont un produit bénéfique pour la société qui peut même améliorer la santé des citoyens qui en consomment. La cohésion sociale, critère 2.3, est aussi très favorable (4) au choix de la méthode, car il doit y avoir une relation de coopération et d'entraide entre les microbrasseurs, les gestionnaires en environnement et les boulangeries. Les consommateurs peuvent avoir un sentiment de fierté et d'appartenance au territoire par rapport à la vente de pains de drêches, ce qui participe également à augmenter la cohésion sociale.

La confection de pains artisanaux de drêches apporte une valeur ajoutée à ces dernières. De plus, les bénéfices sur la santé qu'apporte la consommation de cet aliment ne sont pas à négliger. Ainsi, le critère 3.1 est très favorable (4) à la sélection de la méthode. Les coûts d'investissement et les frais d'exploitation, critères 3.2 et 3.3, sont aussi très favorables (4), car aucun équipement spécial n'est requis et il n'y a pas d'opération très énergivore à effectuer non plus. Par contre, la capacité de traitement a une valeur de 1, soit défavorable (1) au choix de la méthode, car seule une faible quantité de drêches peut être incorporée dans les pains sans en affecter de façon trop importante les propriétés organoleptiques.

4.2.8 Biométhanisation

La biométhanisation correspond à du recyclage au sens des 3RV. Le critère 1.1 a ainsi une valeur de 3. Pour le critère 1.2, la valeur attribuée est aussi de 3, car la biométhanisation se fait dans un lieu fermé, ce qui fait en sorte que les impacts environnementaux sont généralement bien contrôlés. Par ailleurs, au Québec il y a dix entreprises potentielles qui effectuent cette méthode de traitement des drêches. La valeur du critère 1.3, soit celui qui évalue les émissions de GES associées au transport, est de 2, puisqu'il y a probablement une distance relativement importante à parcourir pour acheminer les drêches vers un site de biométhanisation. La consommation énergétique est aussi peu favorable (2) au choix de cette méthode, car elle s'effectue en usine et plusieurs équipements sont utilisés pour réaliser les différentes étapes du procédé, ce qui fait

augmenter la consommation. Par ailleurs, la biométhanisation permet de réduire la pression sur une ressource non renouvelable soit le gaz naturel, puisque le procédé mène lui-même à la production de biogaz. Le critère 1.5 est très favorable (4) au choix de la méthode.

La biométhanisation n'engendre pas de nuisance particulière, mis à part la présence de l'usine en tant que telle. L'acceptabilité sociale a été évaluée comme favorable (3) à la sélection de cette technique, pour cette raison. Par ailleurs, le biogaz généré par un procédé de la sorte est généralement utilisé comme carburant dans les camions de collecte de matières résiduelles ou pour d'autres camions municipaux. Ainsi, le produit n'est pas directement bénéfique pour les citoyens et le critère 2.2 a une valeur de 3. Le critère 2.3, sur la cohésion sociale, est également favorable (3) au choix de la méthode, car les intervenants doivent interagir entre eux afin de traiter les drêches de la sorte.

Sur le plan économique, la production de gaz naturel ajoute une valeur importante aux drêches et le critère 4.1 est très favorable (4) pour la sélection de cette mise en valeur. Cependant, des coûts d'investissement importants sont attendus afin de modifier les installations pour permettre le traitement de matières lignocellulosiques. Le critère 3.2 a une valeur de 2. Pour les frais d'exploitation, ils sont également assez importants puisqu'il s'agit d'un processus qui nécessite beaucoup d'énergie, de la main-d'œuvre spécialisée et un bon programme d'entretien. Le critère 3.3 a aussi une valeur de 2. En ce qui concerne la capacité de traitement, tout comme le compostage, les installations de biométhanisation ne pourront pas cesser complètement de recevoir d'autres matières résiduelles au profit des drêches. Pour cette raison, la capacité de traitement attendue est limitée et le critère 3.4 est peu favorable au choix de cette méthode.

4.2.9 Utilisation comme substrat dans les champignonnières

L'utilisation des drêches en tant que substrat pour la production de champignons est du réemploi, selon les définitions des 3RV. Le critère 1.1 est très favorable (4) au choix de cette méthode pour la mise en valeur des drêches. Par ailleurs, il n'y a pas de pollution attendue par le traitement des drêches en tant que substrat. Le critère 2.2 a une valeur de 4. En ce qui concerne le critère 1.3, les émissions de GES dues au transport des drêches vers les champignonnières ont une valeur de 2, car dans la province du Québec, il y a seulement onze entreprises potentielles pour la mise en valeur des drêches de cette façon. Par ailleurs, la consommation énergétique attendue est faible, car les drêches n'ont pas besoin de subir un prétraitement particulier et peu d'énergie est nécessaire pour la production des champignons. Le critère 1.4 est très favorable (4) au choix de la méthode. L'utilisation des drêches permet aussi de réduire la pression sur des ressources renouvelables comme de la paille, généralement employée comme substrat. Le critère 1.5 a ainsi une valeur de 3.

Dans la deuxième sphère du développement durable, l'acceptabilité sociale face à cette méthode de mise en valeur est bonne. En effet, il s'agit d'une méthode qui ne cause pas de nuisance particulière. De plus,

contrairement aux pains de drêches, les consommateurs ne mangent pas directement les drêches, ce qui aide à l'acceptabilité sociale. Le critère 2.1 a donc une valeur de 4. Les champignons produits sont également un produit bénéfique à la société, car il s'agit de nourriture directement accessible aux citoyens. Pour ces raisons, le critère 2.2 est très favorable à la priorisation de cette méthode de mise en valeur. En outre, elle favorise également la cohésion sociale. Les microbrasseurs, les gestionnaires en environnement et les champignonnières forment un réseau de coopération et d'entraide. Les citoyens peuvent aussi développer un sentiment d'appartenance lié aux champignonnières sur leur territoire. Le critère 2.3 traitant de la cohésion sociale a une valeur de 4.

Les champignons produits à partir des drêches apportent une valeur ajoutée non négligeable. Le critère 3.1 a ainsi une valeur de 4. Dans un autre ordre d'idée, les coûts d'investissement et les frais d'exploitation sont faibles puisqu'il n'y a pas d'équipement particulier à acheter ou de traitement spécial des drêches, qui nécessiterait de la main-d'œuvre qualifiée ou beaucoup d'énergie. Ces deux critères, soit 3.2 et 3.3, sont très favorables (4) à la sélection de cette méthode. Néanmoins, la capacité de traitement est plutôt limitée comparativement à d'autres types de mise en valeur et le critère 3.4 reçoit une valeur de 2.

4.3 Résultats de l'analyse multicritère

La section suivante présente les résultats de l'analyse multicritère. La construction de la grille est décrite, puis son interprétation est faite à l'aide de figures.

4.3.1 Explication de la grille

La grille d'analyse multicritère est divisée en trois sections représentant chacune des sphères du développement durable. La première partie traite des critères environnementaux, tandis que la deuxième traite des critères sociaux et la troisième des critères technicoéconomiques. Pour chacune des sections, un sous-total est présenté pour chacune des méthodes évaluées. Il correspond à la sommation des cotes attribuées aux critères multipliées par la pondération de ces mêmes critères. Les sous-totaux expriment donc la performance de chaque méthode pour chaque sphère.

Le total, quant à lui, correspond à la performance globale des méthodes prises individuellement. Il est obtenu par l'agrégation complète des résultats, soit par l'addition des trois sous-totaux. La méthode de mise en valeur qui cumule la plus grande somme est la plus performante en matière de développement durable. Par ailleurs, la répartition inégale du nombre de critères fait en sorte que la sphère environnementale a volontairement plus de poids dans le score final que la sphère technicoéconomique et la sphère sociale. Attribuer ainsi plus d'importance est un choix logique, car l'objectif de cet essai est de trouver des méthodes de mise en valeur des drêches qui minimisent les impacts environnementaux associés à leur enfouissement en cas de suroffre et dans le contexte de la fin de l'élimination des matières putrescibles imposée en 2020.

Ensuite, la sphère technicoéconomique a plus de poids que la sociale, puisque sans une faisabilité technique et économique, une méthode de mise en valeur ne pourrait être possible. Ainsi, les résultats s'inscrivent dans le cadre du développement durable, mais prennent également en considération le contexte de la problématique. La grille d'analyse multicritère est présentée au tableau 4.3.

Tableau 4.3 Grille d'analyse multicritère pour neuf méthodes

Critères	Pondération	Méthodes de mise en valeur								
		Production de bioéthanol	Combustion dans une chaudière à biomasse	Fabrication de charbon de drèches	Épandage dans les champs	Compostage	Utilisation en alimentation animale	Utilisation dans les boulangeries artisanales	Biométhanisation	Utilisation comme substrat dans les champignonnières
1. Environnementaux										
1.1 Respect de la hiérarchisation des 3RV	1	3	2	3	4	3	4	4	3	4
1.2 Pollution associée à la méthode de mise en valeur	2	2	2	3	4	2	4	4	3	4
1.3 Émissions de GES liées au transport	1	1	4	1	4	3	4	4	2	2
1.4 Consommation énergétique du traitement	2	2	3	1	4	2	4	4	2	4
1.5 Diminution de la pression sur d'autres ressources	1	4	4	3	2	2	3	3	4	3
Sous-total	7	16	20	15	26	16	27	27	19	25
2. Sociaux										
2.1 Acceptabilité sociale	2	3	4	3	4	2	4	3	3	4
2.2 Produit bénéfique pour la société	1	3	1	4	2	4	2	4	3	4
2.3 Cohésion sociale	1	3	2	3	4	3	4	4	3	4
Sous-total	4	12	11	13	14	11	14	14	12	16
3. Technicoéconomiques										
3.1 Produit à valeur ajoutée	1	4	3	4	2	3	3	4	4	4
3.2 Coûts d'investissement	2	2	2	3	4	3	4	4	2	4
3.3 Frais d'exploitation	2	3	3	1	4	3	4	4	2	4
3.4 Capacité de traitement	1	3	4	3	2	2	3	1	2	2
Sous-total	6	17	17	15	20	17	22	21	14	22
Total par méthode		45	48	43	60	44	63	62	45	63

Comme le montrent les totaux au bas du tableau 4.3, les cotes finales des différentes méthodes varient entre 43 et 63. Plus la cote est élevée, plus la méthode devrait être priorisée par rapport aux autres. Ainsi, il faut

prioriser la mise en valeur des drêches soit par leur utilisation en alimentation animale ou par leur utilisation comme substrat dans les champignonnières. Ensuite, il faut prioriser leur utilisation en alimentation humaine, suivi de leur épandage dans les champs et leur combustion dans une chaudière à biomasse. À égalité, vient ensuite la mise en valeur des drêches par la production de bioéthanol et par biométhanisation. Les deux dernières méthodes à utiliser sont le compostage et la fabrication de charbon de drêches.

Cette priorisation est valide si toutes les méthodes peuvent réellement être mises en œuvre dans la même région administrative que la microbrasserie. Or, cette situation diverge de la réalité dans les régions moins peuplées. Le chapitre 5 complète l'ordre de priorisation dans chacune des régions administratives, grâce au portrait géographique des entreprises à potentiel de mise en valeur précédemment fait.

4.3.2 Interprétation de la grille d'analyse multicritère

La figure 4.1 présente de façon visuelle, les résultats obtenus pour chacune des méthodes évaluées et pour chacun des critères des sphères étudiées.

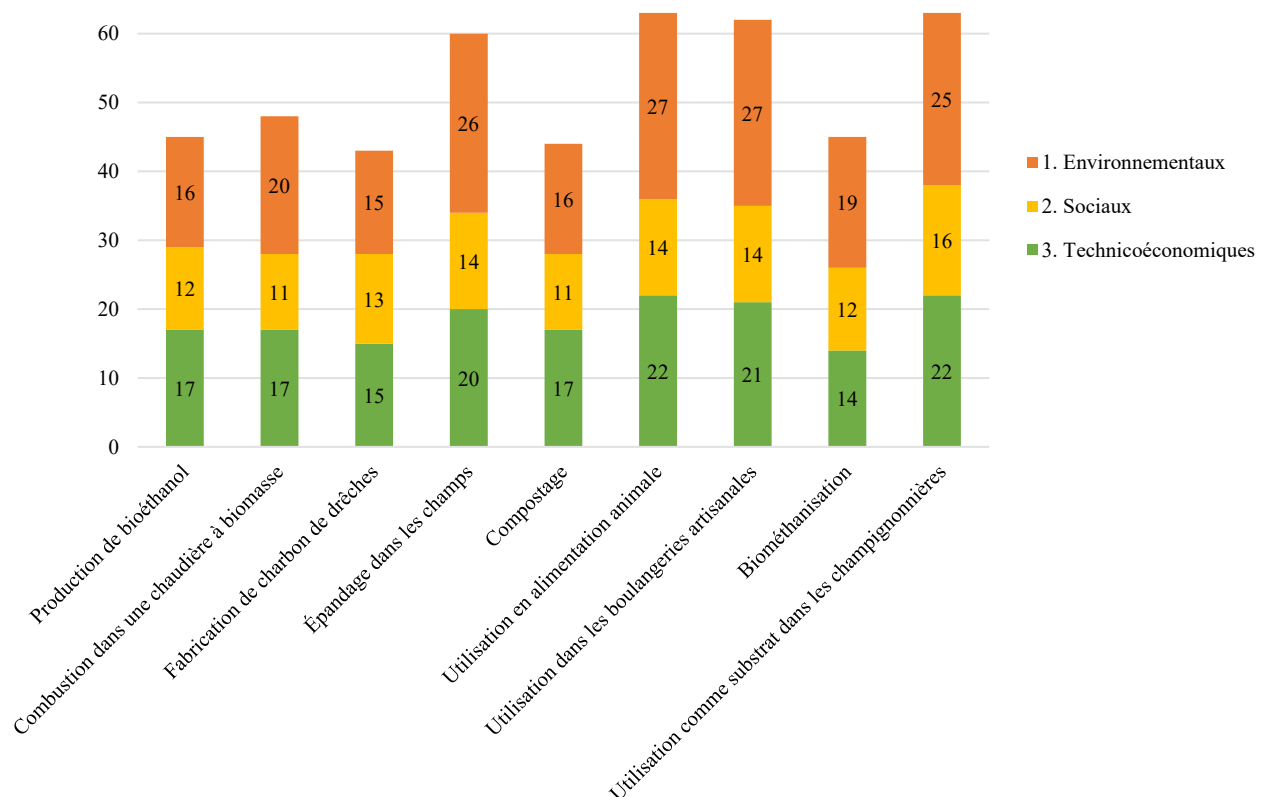


Figure 4.1 Vision globale des résultats de l'analyse multicritère

Avec cette figure, il est possible de constater que quatre méthodes sortent davantage du lot par l'obtention de cotes totales plus élevées, soit 60 à 63. Ces méthodes sont l'épandage dans les champs, l'utilisation des

drêches en alimentation animale et humaine et leur utilisation dans les champignonnières. Les cinq autres méthodes ont également des cotes totales assez similaires entre elles. En effet, elles varient de 43 à 48. La figure 4.2 permet de traiter graphiquement la performance des méthodes de mise en valeur dans chacune des sphères du développement durable.

Pour les critères environnementaux, certaines méthodes performant très bien par rapport aux autres et trois d'entre elles sont moins bonnes. Ces dernières correspondent à la production de bioéthanol, à la fabrication de charbon de drêches et au compostage. Les méthodes qui performant relativement bien sont la combustion dans une chaudière à biomasse et la biométhanisation. Tandis que les méthodes très performantes correspondent aux quatre autres. Du côté de la sphère sociale, cette discrimination marquée entre les méthodes n'est pas observée. En effet, les résultats sont davantage dispersés parmi le spectre de valeurs possibles. Néanmoins, une méthode se démarque des autres par une performance supérieure : l'utilisation des drêches en tant que substrat pour la culture de champignons. Tout à l'opposé, les méthodes les moins performantes sur le plan des critères sociaux sont la combustion des drêches dans une chaudière à biomasse et le compostage. Pour les critères technicoéconomiques, quatre méthodes se distinguent des autres dans le même ordre que pour les critères environnementaux, soit l'épandage dans les champs, l'utilisation des drêches en alimentation animale et humaine et leur utilisation comme substrat de culture de champignons. Trois autres méthodes sont à égalité soit la production de bioéthanol, la combustion dans une chaudière à biomasse et le compostage. Les méthodes les moins performantes pour cette sphère sont la fabrication de charbon de drêches et la biométhanisation.

En résumé, l'analyse multicritère a porté sur les trois sphères du développement durable. Au total, douze critères ont été évalués pour les neuf méthodes de mise en valeur des drêches retenues. De façon générale, les méthodes qui performant très bien dans une sphère ont tendance à très bien performer également dans les autres sphères, quatre méthodes ressortent du lot grâce à ces bonnes performances. Ainsi, le réemploi des drêches en alimentation animale ou comme substrat dans les champignonnières est à prioriser lorsque des entreprises de la sorte sont présentes dans la même région administrative que la microbrasserie cherchant à se départir de ses drêches. Ensuite, il faut prioriser leur réemploi en alimentation humaine et par l'épandage dans les champs. La fabrication de charbon de drêches s'avère la méthode avec la moins bonne cote globale.

5. OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR LA MISE EN VALEUR DES DRÊCHES

Le chapitre 5 synthétise les méthodes de mise en valeur possibles par région administrative et les priorise selon les résultats obtenus au chapitre précédent. Cette synthèse est présentée sous forme de schémas décisionnels afin que les gestionnaires en environnement puissent s'y référer de façon à aider les microbrasseurs dans leur processus de gestion de leurs drêches.

5.1 Guide d'utilisation pour les schémas décisionnels

La forme générale de l'outil décisionnel est présentée à la figure 5.1, à la fin du chapitre 5, tandis que les formes appliquées pour chacune des régions sont présentées à l'annexe 4. Les schémas ont été faits selon les méthodes possibles de mise en valeur par région administrative. Certaines régions sont regroupées de façon à éviter les doublons, car elles comptent sur leur territoire les mêmes types d'entreprises à potentiel de mise en valeur. Au total, huit schémas englobent l'ensemble des régions administratives où des microbrasseries sont établies. Les régions pour lesquelles les schémas s'appliquent sont indiquées dans les coins supérieurs droits des figures correspondantes. De plus, les couleurs des étiquettes de régions sont les mêmes que celles illustrées sur la carte des régions administratives présentées à la figure 3.1. Il est donc facile pour les gestionnaires en environnement de retrouver quel schéma s'applique à une région spécifique.

Les carrés jaunes mettent en évidence la première question que l'utilisateur doit se poser pour entrer dans les schémas, tandis que les ovales ou carrés verts représentent les différentes fins possibles. Les questions sont formulées sous formes fermées de façon à donner uniquement deux choix de réponse à l'utilisateur, soit oui ou non. L'utilisateur doit donc suivre les flèches selon les réponses qu'il donne aux questions, et ce jusqu'à l'atteinte d'un ovale ou d'un carré vert. Si un ovale vert est atteint, cela signifie que 100 % des drêches sont mises en valeur selon une ou plusieurs des neuf méthodes présentées. Si un carré vert est atteint, des recherches supplémentaires de voies de valorisation des drêches devront être effectuées spécifiquement pour le territoire en question, car les méthodes de mise en valeur proposées n'auront pas été suffisantes pour éviter l'élimination de 100 % des drêches produites.

Par ailleurs, le principe des schémas repose sur la demande en drêches pour les différentes voies de mise en valeur. S'il n'y a pas de demande pour la première méthode à prioriser, la deuxième méthode est envisagée et ainsi de suite. Cependant, s'il y a une demande, la méthode en question doit être utilisée pour mettre en valeur le maximum de drêches possibles. Lorsque le 100 % n'est pas atteint, le restant pourra être mis en valeur par la ou les méthodes subséquentes.

Dans le cas de la combustion des drêches dans une chaudière à biomasse, le principe est un peu différent. En effet, cette méthode de mise en valeur ne peut être possible que si la microbrasserie dispose d'un budget

pour l'achat d'une chaudière de ce type et l'achat d'un équipement de séchage. Lorsqu'elle n'en dispose pas, les méthodes suivantes de mise en valeur doivent être utilisées.

Pour la biométhanisation et le compostage, c'est plutôt la possibilité de traitement qui est envisagée et non la demande en drêches, car ces dernières ne sont pas spécifiquement recherchées pour ces types de mise en valeur. Cette possibilité dépend de la capacité de traitement des installations et de la quantité d'autres matières organiques qu'elles reçoivent.

Dans le cas où plusieurs méthodes de mise en valeur ayant la même priorisation seraient possibles dans une région administrative, celle dont le site de traitement est le plus proche de la microbrasserie doit être privilégiée. Cela permet de limiter la distance de transport, et les coûts et la pollution qui y sont associés. Cette situation survient lorsque la mise en valeur par l'utilisation des drêches comme substrat pour la culture de champignons est possible et lorsqu'une usine de production de bioéthanol est présente sur le même territoire qu'une usine de biométhanisation.

L'utilisation aisée des schémas décisionnels permet aux gestionnaires en environnement d'identifier rapidement les méthodes de mise en valeur des drêches qui doivent être priorisées de façon spécifique dans chaque région administrative du Québec où des microbrasseries sont présentes. Un schéma global est aussi présenté à la page suivante. Celui-ci inclut les neuf méthodes de mise en valeur évaluées au chapitre 4 et peut donc être utilisé comme canevas dans le cas où des entreprises à potentiel de mise en valeur s'ajouteraient ou s'élimineraient de certaines régions.

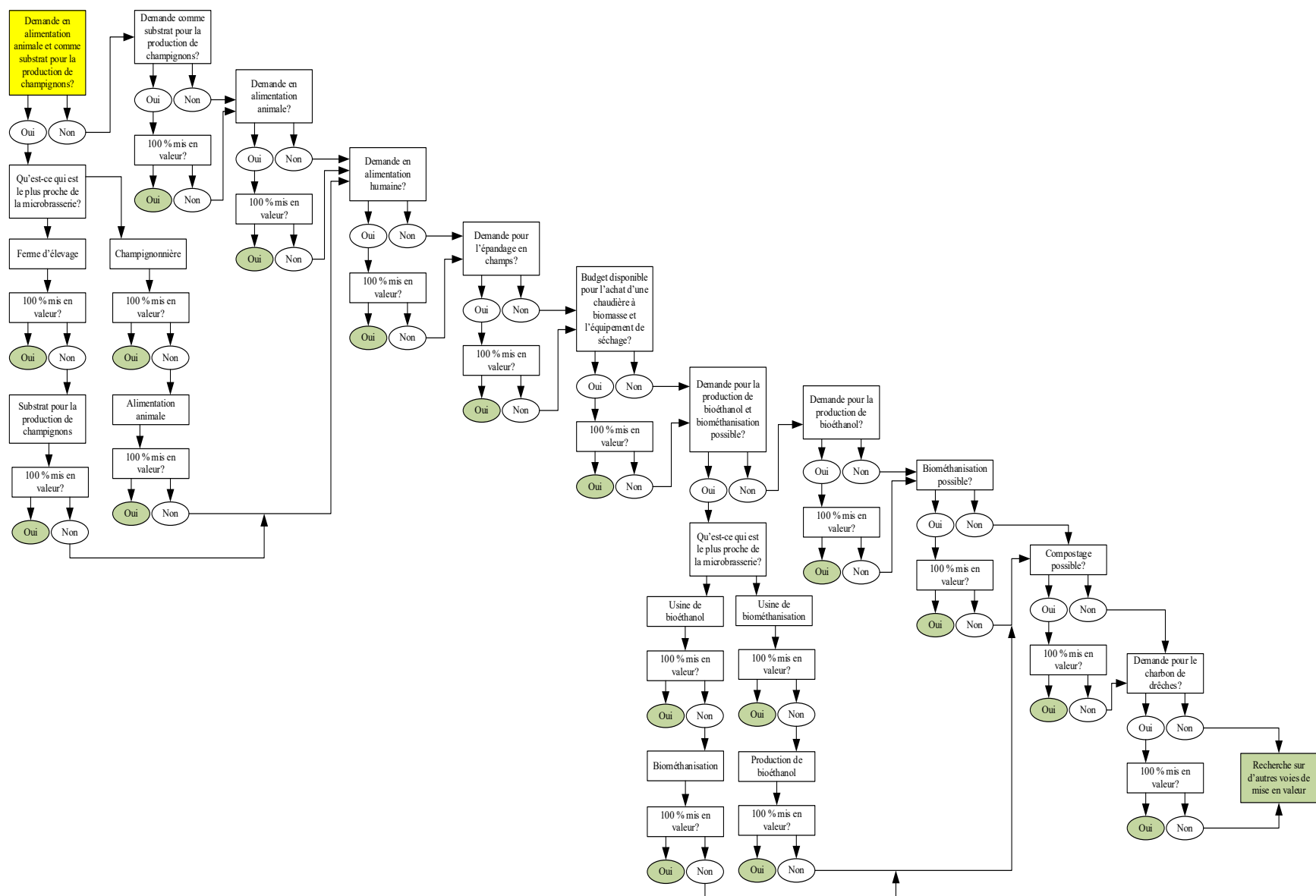


Figure 5.1 Canevas pour les schémas décisionnels

6. RECOMMANDATIONS

Le chapitre 6 présente différentes recommandations élaborées à la lumière des résultats des chapitres précédents.

6.1 Recommandations aux privés

Les recommandations suivantes s'appliquent soit aux microbrasseurs québécois soit aux entreprises à potentiel de mise en valeur.

6.1.1 Microbrasseurs québécois

- Participer au réemploi, au recyclage ou à la valorisation des drêches générées, en étant ouverts aux différentes voies de mise en valeur possibles et en étant coopératifs avec les entreprises à potentiels de mise en valeur;
- Donner les drêches générées à des entreprises de mise en valeur, s'il est impossible de les vendre, de façon à favoriser le développement de nouveaux marchés et d'une économie circulaire.

Ces deux recommandations sont essentielles pour permettre une mise en valeur des drêches. Sans participation, coopération et ouverture, il ne pourrait pas y avoir de mise en valeur de l'ensemble des drêches générées. De cette façon, la cohésion sociale, telle qu'évaluée dans l'analyse multicritère, peut être améliorée. De plus, pour éviter l'élimination des drêches, celles-ci doivent être données aux entreprises de mise en valeur. Cela peut aussi permettre à des entreprises de développer de nouveaux produits bénéfiques pour la société sans avoir à défrayer des coûts importants pour l'achat d'intrants.

6.1.2 Entreprises à potentiel de mise en valeur

- Favoriser le choix des drêches comme matières premières si cela est applicable à la méthode;
- Participer aux développements de nouveaux produits faits à partir des drêches de microbrasseries en étant créatifs et imaginatifs. Les drêches sont peu coûteuses et présentent diverses propriétés intéressantes pour le développement de produits. Ce sont donc des matières secondaires de choix.

Ces recommandations vont dans le même sens que celles présentées en 6.1.1, c'est-à-dire qu'elles visent à augmenter la cohésion sociale et à mener au développement de produits bénéfiques pour la société. Toutefois, un aspect économique est également apporté. En effet, le choix des drêches comme intrants dans un procédé permet de réduire les frais d'exploitation associés à l'achat des matières premières. D'ailleurs, un critère de l'évaluation multicritère correspond à ces frais et pourrait être amélioré pour plusieurs méthodes de mise en valeur. Le choix des drêches par rapport à d'autres matières peut aussi permettre de diminuer la pression sur d'autres ressources.

6.2 Recommandations à la gouvernance

La section 6.2 expose des recommandations à l'intention du gouvernement québécois et de Recyc-Québec.

6.2.1 Gouvernement du Québec

- Continuer d'investir et d'apporter un soutien financier par les programmes d'aide financière de la Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020, et le programme d'aide financière « ESSOR » pour la création d'entreprises à potentiel de mise en valeur ou pour leur expansion ou modernisation;
- Élargir la portée du « Programme de biomasse forestière résiduelle » de Transition énergétique Québec de façon à englober l'ensemble de la biomasse résiduelle pouvant être utilisée pour la combustion dans une chaudière à biomasse;
- Considérer l'offre en drêches pour la détermination de la capacité de traitement dans les projets de sites de compostage et de biométhanisation municipaux.

Les deux premières recommandations sont en lien avec le critère des coûts d'investissement. Ce critère important a été évalué comme peu favorable au choix de plusieurs méthodes de mise en valeur. Ainsi, avec une aide financière, les entreprises à potentiel de mise en valeur seraient plus aptes à traiter les drêches de microbrasseries. La troisième recommandation, pour sa part, est plus technique et permettrait d'accroître la capacité de traitement de divers sites de compostage et de biométhanisation.

6.2.2 RECYC-QUÉBEC

- Rouvrir les programmes d'aide financière pertinents pour les entreprises et organismes, soit « Implantation de technologies et de procédés et développement des marchés », « Économie sociale et mobilisation des collectivités » et « Performance des ICI en gestion des matières résiduelles ».

Cette dernière recommandation vise l'obtention d'aide financière par les microbrasseries et les entreprises à potentiels de mise en valeur de façon à les aider à augmenter la capacité de traitement des drêches par les différentes méthodes et ainsi d'éviter à 100 % l'élimination de ce sous-produit de brasserie. De plus, cette aide financière permettrait également d'apporter les modifications nécessaires aux installations déjà en place pour supporter le traitement des drêches. Les critères des coûts d'investissement et de la capacité de traitement seraient donc plus favorables au choix des méthodes.

CONCLUSION

Le Québec s'est engagé dans un processus de développement durable depuis déjà quelques années. La gestion des matières résiduelles n'est pas épargnée par ce vent de changement. D'ailleurs, la Politique québécoise sur la gestion des matières résiduelles est un outil d'intégration du développement durable dans ce secteur d'activité. De façon plus concrète, le Plan d'action 2011-2015 a été mis sur pieds pour atteindre certains objectifs, dont celui d'éliminer uniquement les résidus ultimes. Pour y arriver, le plan d'action prévoit entre autres le bannissement des matières organiques des sites d'enfouissement d'ici 2020.

Les microbrasseries seront affectées par ces changements, car elles génèrent une grande quantité de matières organiques résiduelles, soit principalement les drêches. Actuellement, le nombre de microbrasseries sur le territoire Québécois est en augmentation et les modes de mise en valeur traditionnelle des drêches ne peuvent déjà plus suffire à gérer toute l'offre. Ainsi, l'objectif général de cet essai était de créer un outil d'aide à la décision pour aider les spécialistes en environnement et les microbrasseurs à trouver la méthode de mise en valeur des drêches la plus adéquate selon leur situation géographique tout en respectant les grandes orientations du développement durable. Pour répondre à cet objectif, différents sous-objectifs ont été atteints. Tout d'abord, les différentes méthodes possibles de mise en valeur des drêches ont été passées en revue à la suite de l'identification des propriétés physiques et chimiques de celles-ci. Ensuite, un portrait géographique des microbrasseries et des entreprises à potentiel de mise en valeur a été fait. Subséquemment, une analyse multicritère a été complétée et a permis de prioriser les méthodes de mise en valeur étudiées. Cette analyse a été basée sur les trois axes du développement durable, soit la sphère environnementale, sociale et économique. Puis finalement, un bref guide d'utilisation des schémas d'aide à la décision a été élaboré pour faciliter leur compréhension par les gestionnaires en environnement et les microbrasseurs.

Le chapitre 2 a mis en lumière les propriétés physicochimiques des drêches et les différentes méthodes de mise en valeur. Ainsi, les drêches sont une matière lignocellulosique avec un pouvoir calorifique comparable à d'autres biomasses et des propriétés bioactives intéressantes. De plus, des méthodes variées de mise en valeur des drêches sont possibles, mais pour la plupart d'entre elles, un prétraitement est nécessaire de manière à préparer les drêches au processus. Souvent, une étape de séchage est nécessaire pour diminuer leur teneur en humidité. Elles ont néanmoins un potentiel intéressant pour plusieurs utilisations, que ce soit en tant que matière première pour la production de biocarburant ou de biogaz, pour leur utilisation comme amendement ou leur compostage, pour l'industrie alimentaire tant animale qu'humaine ou pour leur utilisation comme substrat pour la production de champignons.

Le chapitre 3, pour sa part, a permis de constater que les 176 microbrasseries québécoises sont réparties sur presque la totalité du territoire de la province. Cependant, c'est la région de Montréal qui en compte le plus, suivi de la Montérégie et de la Capitale-Nationale. Par ailleurs, les entreprises à potentiel de mise en valeur

par neuf méthodes différentes ont été identifiées et ce sont également les régions de Montréal, de la Montérégie et de la Capitale-Nationale qui en accueillent le plus.

Ensuite, le chapitre 4 a priorisé les neuf méthodes de mise en valeur. Pour ce faire, douze critères pondérés ont été évalués pour chacune des méthodes, soit cinq critères environnementaux, trois critères sociaux et quatre critères technicoéconomiques. De cette manière, les trois sphères du développement durable ont été prises en compte dans la priorisation des méthodes. Les résultats de cette analyse multicritère ont montré que quatre méthodes de mise en valeur des drêches se démarquent davantage des autres, soit respectivement dans l'ordre, leur utilisation en alimentation animale, leur utilisation comme substrat pour la production de champignons, leur utilisation en alimentation humaine et leur épandage dans les champs. À l'opposé, les méthodes les moins adéquates sont la production de bioéthanol, l'utilisation des drêches comme combustibles dans une chaudière à biomasse, la fabrication de charbon de drêches, leur compostage et la production de biogaz.

Le chapitre 5 a alors permis d'inclure dans des schémas décisionnels les résultats du chapitre 3, soit le portrait géographique des microbrasseries et des entreprises à potentiel de mise en valeur, et les résultats de la priorisation des méthodes du chapitre 4. Un bref guide a aussi été élaboré pour faciliter l'utilisation des schémas décisionnels présentés à l'annexe 4.

Par ailleurs, le chapitre 6 présente certaines recommandations à l'intention des microbrasseurs, des entreprises à potentiel de mise en valeur et de la gouvernance. Celles-ci visent majoritairement un soutien financier pour la gestion des drêches par des méthodes de mise en valeur et une participation active des parties prenantes au développement de nouveaux marchés et produits faits à partir de drêches.

Les sous-objectifs ont donc été remplis, ce qui a permis l'atteinte de l'objectif principal. Un outil d'aide à la décision a été élaboré à travers divers schémas décisionnels et les méthodes de mise en valeur des drêches ont été priorisées selon les trois axes du développement durable. L'état géographique actuel des microbrasseries et des entreprises à potentiel de mise en valeur a aussi été considéré dans l'élaboration des schémas, qui sont spécifiques à chacune des régions administratives où des microbrasseries sont présentes.

Cet essai présente néanmoins un portrait global de la situation actuelle sur le territoire du Québec. Une étude spécifique à la région de Montréal pourrait être effectuée afin de préciser les capacités de traitement des différentes entreprises à potentiel de mise en valeur sur ce territoire et de déterminer si 100 % des drêches peuvent y être traitées. La région de Montréal est particulièrement intéressante, car c'est là où la plus grande quantité de drêches est produite et c'est également là où il y a le plus d'entreprises à potentiel de mise en valeur. Un scénario de traitement des drêches produites à Montréal pourrait donc servir de modèle pour les autres régions administratives désirant préciser les capacités de traitement de ses propres entreprises.

RÉFÉRENCES

- Aboukila, E. F., Nassar, I. N., Rashad, M., Hafez, M. et Norton, J. B. (2016). Reclamation of calcareous soil and improvement of squash growth using brewers' spent grain and compost. *Journal of the Saudi Society of Agricultural sciences*, 1-8. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X1630131X>
- Agriculture urbaine Montréal. (s. d.). Blanc de gris, la champignonnière urbaine. Repéré à <http://agriculturemontreal.com/blanc-gris-champignonniere-urbaine>
- Aliyu, S. et Bala, M. (2011). Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10(3), 324-331. Repéré à http://www.academicjournals.org/article/article1380725235_Aliyu%20and%20%20Bala.pdf
- Association des Microbrasseries du Québec (AMBQ). (2015). *Importance du soutien gouvernemental dans le maintien et le développement du secteur des microbrasseries au Québec*. (Commission d'examen sur la fiscalité québécoise : CFP – 034M). Québec : AMBQ
- Association des Microbrasseries du Québec (AMBQ). (2016). Un portrait de l'industrie brassicole au Québec : Évolution du nombre de permis. Repéré à <http://www.ambq.ca/mod/file/ContentDoc/fbd7939d674997cdb4692d34de8633c4.pdf>
- Association des Microbrasseries du Québec (AMBQ). (2017). Portrait de l'industrie brassicole au Québec. Repéré à <http://www.ambq.ca/mod/file/ContentDoc/93db85ed909c13838ff95ccfa94cebd9.pdf>
- Besse, J. et Dechaine, D. (2014). Distillery Design: Producing Vodka and Other Spirits. Repéré à https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-042714-123109/unrestricted/Distillery_MQP.pdf
- Blaquière, D. (animateur). (2012). La poubelle province [Reportage]. *Zone Doc*. Québec, Canada : Société Radio-Canada.
- Boessinger, M. et Hug, H. (2005). Les drêches de brasserie, un aliment protéique intéressant. Repéré à http://bier.swiss/wp-content/uploads/sites/2/2015/04/f_malztreber.pdf
- Boldwin. (2016). Laurent Agliata, créateur du pain à la bière et à la drêche. Repéré à <https://biereboldwin.com/laurent-agliata-createur-pain-a-biere-a-dreche/>
- Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE). (1995). *Projet d'agrandissement d'un lieu d'enfouissement sanitaire à Lachenaie : rapport d'enquête et d'audience publique*. Repéré à <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/publications/bape089.pdf>
- Canton de Berne. (s. d.). La Boussole bernoise du développement durable. Repéré à http://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/ueber-die-direktion/dossiers/nachhaltige_entwicklungne/nachhaltigkeitsbeurteilung/ne_berner_kompass.html
- Cappa, C. et Alamprese, C. (2017). Brewer's spent grain valorization in fiber-enriched fresh egg pasta production: Modelling and optimization study. *LWT – Food science and technology*, 82, 464-470. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817302955>
- Carassou, F. (2015). *Une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté? Cas de l'île de Montréal* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.

- Charbon de bois franc basques. (2017a). Faites affaire avec nous! Repéré à <http://www.charbonbasques.com/faites-affaires-avec-nous/>
- Charbon de bois franc basques. (2017b). Un podium sur naked whiz. Repéré à <http://www.charbonbasques.com/un-podium-sur-naked-whiz/>
- Colussi, I., Cortesi, A., Gallo, V. et Vitanza, R. (2016). Biomethanization of brewer's spent grain evaluated by application of the anaerobic digestion model no.1. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35(4), 1055-1060. Repéré à <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.usherbrooke.ca/doi/10.1002/ep.12326/epdf>
- Croisier, J. D. (2014). *Agricultural utilization of brewers' spent grain & sawdust: Effects on fertility of soils and productivity of crops* (Mémoire de maîtrise). Ohio University, Colombus, Ohio, États-Unis. Repéré à https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=ohiou1417788956&disposition=inline
- Dubuc, A. (2015, 28 février). Le gaspillage d'une ressource. *La Presse plus*. Repéré à http://plus.lapresse.ca/screens/3ff3385b-db27-4074-9114-a891f0e1b9b3%7C_0.html
- Ducharme, N. (2016, 31 janvier). Bières de microbrasseries : un marché en pleine ébullition. *Le Nouvelliste*. Repéré à <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/actualites/201601/31/01-4945740-bieres-de-microbrasseries-un-marche-en-pleine-ebullition.php>
- Enerkem. (2017a). Projets et partenariats. Repéré à <http://enerkem.com/fr/usines/projets-partenariats/>
- Enerkem. (2017b). Enerkem Westbury. Repéré à <http://enerkem.com/fr/usines/enerkem-westbury/>
- Fărcas, A., Tofană, M., Socaci, S., Mudura, E., Scrob, S., Salantă, L. et Muresan, V. (2014). Brewers' spent grain – A new potential ingredient for functional foods. *Journal of agroalimentary processes and technologies*, 20(2), 137-141. Repéré à http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/20623L21_Vol_20%282%29_2014_137_141.pdf
- Gagné, D. (animateur). (2017). Le retour des briquettes et du charbon de bois [Reportage]. *L'épicerie*. Montréal, Québec : Société Radio-Canada.
- Geoffrion, I. et Marmette, M.-C. (s. d.). *Valoriser la drêche de microbrasserie grâce à la culture de champignons*. (Rapport d'un projet de design). Montréal, Québec : Université McGill.
- Grand dictionnaire terminologique (GDT). (2011). Fiche terminologique « Biocharbon ». Repéré à http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26506979
- Heuzé, V. et Tran, G. (2017). Coproduit de brasserie : Drêches de brasserie. Repéré à <http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/comite-national-des-coproduits/publication/idelesolr/recommends/coproduits-8-nouvelles-syntheses-disponibles.html>
- Kopsahelis, N. Kanellaki, M. Bekatorou, A. (2007). Low temperature brewing using cells immobilized on brewer's spent grains. *Food Chemistry*, 104, 480-488. Repéré à http://ac.els-cdn.com.ezproxy.usherbrooke.ca/S0308814606009472/1-s2.0-S0308814606009472-main.pdf?_tid=99777c24-67fd-11e7-a5d8-00000aacb360&acdnt=1499972636_2b8a0b5c44b7d605e9f813d3c16ce45a
- Lacroix-Couture, F. (2015, 16 décembre). Le boom des microbrasseries au Québec. *Les affaires*. Repéré à <http://www.lesaffaires.com/secteurs-d-activite/commerce-de-detail/le-boom-des-microbrasseries-au-quebec/584156>

- Leclerc, J. (2017). Les 17 régions administratives du Québec. Repéré à http://www.axl.cefan.ulaval.ca/amnord/quebec-Regions_admin-carte.htm
- Lee, K. (2010). *Anaerobic digestion of brewers' spent grain in a novel plug flow reactor system* (Thèse de doctorat). University of Georgia, Athens, Géorgie, États-Unis. Repéré à https://getd.libs.uga.edu/pdfs/lee_kevin_201008_ms.pdf
- Le groupe DBSF. (2007). *Étude sectorielle du domaine des boulangeries et des pâtisseries*. Repéré à http://www.csmota.qc.ca/csmota_fichiers/file/Rapportfinalboulangerie2008.pdf
- Liguori, R., Soccol, C. R., Vandenberghe, L. P. S., Woiciechowski, A. L. et Faraco, V. (2015). Second generation ethanol production from brewers' spent grain. *Energies*, 8(4), 2575-2586. Repéré à <http://www.mdpi.com/1996-1073/8/4/2575>
- Loi sur le développement durable, L.R.Q. 2017, c. D-8.1.1
- Lynch, K. M., Steffen, E. J. et Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122, 553-568.
- Maple leaf charcoal. (2015). Le charbon de bois feuille d'érable. Repéré à <http://www.mapleleafcharcoal.com/charbon/charbon.html>
- Mathias, T., Mello, P. et Sérvulo, E. (2014). Solid wastes in brewing process: A review. *Journal of brewing and distilling*, 5(1), 1-9. Repéré à http://www.academicjournals.org/article/article1405623821_Mathias%20et%20al.pdf
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). (2010a). Sainte-Christine-d'Auvergne. Repéré à <https://www.mamot.gouv.qc.ca/recherche-avancee/fiche/municipalite/34105/>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT). (2010b). Recherche avancée. Repéré à <https://www.mamot.gouv.qc.ca/recherche-avancee/>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2005). Ta curiosité est piquée par les 3RV? Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/jeunesse/chronique/2005/0512-3rv.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de Parcs (MDDEP). (2011). Politique québécoise de gestion des matières résiduelles : Plan d'action 2011-2015. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/presentation.pdf>
- Mussatto, S. I., Moncada, J., Roberto, I. C. et Cardona, C. A. (2013). Techno-economic analysis for brewer's spent grains use on a biorefinery concept: The Brazilian case. *Bioresource technology*, 148, 302-310. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413012765>
- Mussatto, S. I. (2014). Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1264-1275. Repéré à <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.usherbrooke.ca/doi/10.1002/jsfa.6486/epdf>
- Mussatto, S.I., Dragone, G. et Roberto, I.C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1-14. Repéré à <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521005000706>

- Nsoanya, L. N. et Nweke, I. A. (2015). Effect of intergrated use of spent grain and NPK (20: 10: 10) fertilizer on soil chemical properties and maize growth. *International Journal of research in agriculture and forestry*, 2(3), 14-18. Repéré à <http://www.ijraf.org/pdf/v2-i3/3.pdf>
- Olivier, M.-J. (2016). *Chimie de l'environnement* (2^e éd.). Saint-Robert, Québec : Lab Éditions.
- Ouimet, M.-N. (2016). La Boldwin de la Brasserie New Deal, une bière engagée socialement. Repéré à <https://urbainecity.com/2016/11/boldwin-brasserie-new-deal/>
- RECYC-QUÉBEC. (2015). Carte des installations de traitement des matières organiques du Québec. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/municipalites/matieres-organiques/residus-verts/documents-outils-pratiques-planification/carte-lieux-compostage>
- RECYC-QUÉBEC. (2017). Les résidus organiques du secteur des industries, des commerces et des institutions. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/matieres-organiques/guides-et-etudes/residus-organiques-entreprises>
- RECYC-QUÉBEC. (s. d.). Guide pour la gestion des odeurs. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/municipalites/matieres-organiques/residus-verts/documents-outils-pratiques-planification/guide-gestion-odeurs>
- Séon, C. (2017). Les enjeux logistiques des drêches. Repéré à <http://www.nowaste.be/logistique-dreche/>
- SOLINOV. (2009). *Analyse du potentiel de codigestion à la ferme de matières organiques provenant des secteurs municipal, industriel, commercial et institutionnel (ICI)*. (RT01-25108). Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec : SOLINOV.
- SOLINOV. (2013). *Portrait du gisement de résidus organiques de l'industrie agroalimentaire au Québec et estimation des aliments consommables gérés comme des résidus par les ICI de la filière de l'alimentation*. (RT01-40412). Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec : SOLINOV.
- Taillefer, S. (2015). *Installations de traitement des matières organiques au Québec : lieux existants et projets en cours*. Repéré à http://www.compost.org/conf2015/Organics_Recycling_Advances_Across_Canada-Avancees_en_Recyclage_des_Matieres_Organiques_au_Canada/InstallationsdetraitementdesmatieresorganiquesauQuebecSTailleferRQ.pdf
- Union des producteurs agricoles (UPA). (2017a). L'agriculture en chiffres. Repéré à <https://www.upa.qc.ca/fr/statistiques/>
- Union des producteurs agricoles (UPA). (2017b). L'organisation. Repéré à <https://www.upa.qc.ca/fr/organisation/>
- Weger, A., Binder, S., Franke, M., Hornung, A., Russ, W. et Mayer, W. (2014). Solid biofuel production by mechanical pre-treatment of brewer's spent grain. *Chemical Engineering Transaction (CET)*, 37, 661-666. Repéré à <http://www.aidic.it/cet/14/37/111.pdf>
- Zang, M. (2015). Using spent brewery grain in the Alaska compost pile. *University of Alaska Fairbanks*. Repéré à <https://www.uaf.edu/files/ces/publications-db/catalog/anr/HGA-01026.pdf>

BIBLIOGRAPHIE

Champag inc. (2017). Projet à l'étude. Repéré à <https://projetchampag.ca/>

Champagne, S. (2008, 4 février). Tout laisser pour les champignons. La Presse. Repéré à <http://affaires.lapresse.ca/economie/200901/09/01-693222-tout-laisser-pour-les-champignons.php>

Champignons Charlevoix. (s. d.). À propos de nous. Repéré à <http://www.champignonscharlevoix.com/#2>

Entreprises Québec. (s. d.). Produits Maty inc. Repéré à <http://www.quebecentreprises.com/produits-maty-inc-u2av/>

La pleurotière inc. (s. d.). La pleurotière. Repéré à <http://www.lapleurotiere.com/>

Le Coprin. (s. d.). Informations sur l'entreprise. Repéré à http://www.lecoprin.ca/Entreprise_fr.htm

Marché fermier. (s. d.). La champignonnière. Repéré à <http://marchefermier.ca/site/fr/la-champignonniere/>

Muliele, T. M., Nsombo, B. M., Kapalay, O. M. et Mafuka, P. M.-M. (2017). Amendements organiques et dynamique de l'azote minéral dans le sol sableux de Kinshasa (RD Congo). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 32(2), 5156-5167. Repéré à <http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2017/03/5.Muliele.pdf>

Mycocultures. (s. d.). Specializing in mushroom cultivating supplies. Repéré à <http://www.mycocultures.com/accueil/>

Mycotrophe. (2017). À propos de Mycotrophe. Repéré à <https://www.mycotrophe.com/qui-sommes-nous>

Violon & champignon. (2017). Culture de champignons. Repéré à <https://violon-et-champignon.myshopify.com/pages/champignons>

ANNEXE 1 – RENDEMENT EN BIOÉTHANOL SELON LES TRAITEMENTS EMPLOYÉS

(tiré de : Mussatto, 2014, 1269)

Pre-treatment method	Microorganism	Production conditions	Ethanol yield	Ethanol efficiency (% of theoretical yield)
Acid pre-treatment with 0.16 mol L ⁻¹ HNO ₃ at 121 °C for 15 min, followed by enzymatic digestion (cellulase + hemicellulase) at 50 °C, 150 rpm for 18 h	<i>Pichia stipitis</i> NCYC 1540	Erlenmeyer flasks containing 50 mL of fermentation medium, 30 °C, 100 rpm	0.32 g g ⁻¹ sugars	63
	<i>Kluyveromyces marxianus</i> NCYC 1425		0.23 g g ⁻¹ sugars	45
Alkali pre-treatment using 1 g NaOH per 10 g BSG at 121 °C for 30 min	<i>Neurospora crassa</i> DSM 1129	2 L bioreactor containing 1 L of fermentation medium, 30 °C, 0.1 vvm, 180 rpm	74 g kg ⁻¹ BSG (equivalent to 0.17 g g ⁻¹ sugars)	36
Alkali pre-treatment using 1 g NaOH per 10 g BSG at 121 °C for 30 min	<i>Fusarium oxysporum</i> F3	2 L bioreactor containing 1 L of fermentation medium, 30 °C, 0.1 vvm, 180 rpm	109 g kg ⁻¹ BSG	60
Alkali pre-treatment using 1 g NaOH per 10 g BSG at 121 °C for 30 min	<i>Fusarium oxysporum</i> F3	Consolidated process: solid state fermentation at 30 °C for enzyme production, followed by submerged fermentation in a 2 L bioreactor containing 1 L of fermentation medium at 30 °C, 0.1 vvm for ethanol production	65 g kg ⁻¹ BSG	30

ANNEXE 2 – CALCULS DES VOLUMES DE DRÊCHES PRODUITES EN 2017

L'étude effectuée par l'AMBQ en 2015 avait montré que lors de l'année 2014, les 128 microbrasseries présentes sur le territoire québécois avaient produit 485 000 hl de bières (AMBQ, 2015). Or, sachant que 10 000 hl de bières engendrent en moyenne 200 t de drêches résiduelles et faisant l'hypothèse que chacune des microbrasseries produisait une quantité égale de bière, les calculs permettent d'estimer le volume de drêches produites par les microbrasseries québécoises en 2014 (Fărcas et al., 2014; Mussatto et al., 2006).

Calcul de la quantité de drêches produites par une microbrasserie :

$$\frac{t \text{ drêches}}{\text{microbrasserie}} = \frac{485\,000 \text{ hl}}{128 \text{ microbrasseries}} * \frac{200 \text{ t drêches}}{10\,000 \text{ hl}} = \frac{76 \text{ t drêches}}{\text{microbrasserie}}$$

Étant donné la grande incertitude sur la valeur finale, celle-ci ne présente aucune décimale.

En faisant l'hypothèse que le nombre de microbrasseries établies au Québec en juin 2017 demeure constant jusqu'au 31 décembre de la même année et que chacune d'elles produit le même volume de bières que ce que les microbrasseries de 2014 faisaient, le calcul suivant estime la quantité de drêches produites annuellement pour une région administrative donnée.

Exemple de calcul de la quantité de drêches produites par région administrative, cas du Bas-Saint-Laurent qui accueille sept microbrasseries :

$$\frac{t \text{ drêches}}{\text{Bas} - \text{Saint} - \text{Laurent}} = \frac{76 \text{ t drêches}}{\text{microbrasserie}} * \frac{7 \text{ microbrasseries}}{\text{Bas} - \text{Saint} - \text{Laurent}} = \frac{532 \text{ t drêches}}{\text{Bas} - \text{Saint} - \text{Laurent}}$$

Tous les calculs des quantités de drêches produites par région administrative dans le tableau de l'annexe 3 ont été faits de la même façon.

ANNEXE 3 – COMPILATION DES ENTREPRISES À POTENTIEL DE MISE EN VALEUR

Le tableau 3.1 présente l'ensemble des entreprises identifiées par région. À noter que lorsque la mention N/A (non applicable) est présente, cela signifie que le nombre exact d'entreprises n'était pas disponible. Il est néanmoins connu que chaque type d'entreprises agricoles (épandage et alimentation animale) et d'entreprises alimentaires (boulangeries) sont présentes dans chacune des régions.

Entreprises à potentiel de mise en valeur par région

Régions administratives	Nombre de microbrasseries	Tonnes de drêches par an	Entreprises potentielles									Total sans les chaudières à biomasse	Total
			Production de bioéthanol	Combustible dans une chaudière à biomasse	Production de charbon de drêches	Épandage	Production de compost	Alimentation animale	Alimentation humaine	Production de biogaz	Substrat pour la production de champignons		
Bas-Saint-Laurent (01)	7	532	0	7	1	N/A	5	N/A	N/A	1	0	7	14
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	13	988	0	13	0	N/A	1	N/A	N/A	0	0	1	14
Capitale-Nationale (03)	20	1 520	0	20	1	N/A	4	N/A	N/A	1	1	7	27
Mauricie (04)	11	836	0	11	0	N/A	0	N/A	N/A	0	0	0	11
Estrie (05)	10	760	1	10	0	N/A	3	N/A	N/A	1	1	6	16
Montréal (06)	36	2 736	0	36	0	N/A	5	N/A	N/A	2	1	8	44
Outaouais (07)	4	304	0	4	0	N/A	2	N/A	N/A	0	2	4	8
Abitibi-Témiscamingue (08)	4	304	0	4	0	N/A	3	N/A	N/A	0	0	3	7

Entreprises à potentiel de mise en valeur par région (suite)

Régions administratives	Nombre de microbrasseries	Tonnes de drêches par an	Entreprises potentielles									Total sans les chaudières à biomasse	Total
			Production de bioéthanol	Combustible dans une chaudière à biomasse	Production de charbon de drêches	Épandage	Production de compost	Alimentation animale	Alimentation humaine	Production de biogaz	Substrat pour la production de champignons		
Côte-Nord (09)	2	152	0	2	0	N/A	1	N/A	N/A	0	0	1	3
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	5	380	0	5	0	N/A	2	N/A	N/A	0	0	2	7
Chaudière-Appalaches (12)	7	532	0	7	0	N/A	1	N/A	N/A	0	0	1	8
Laval (13)	3	228	0	3	0	N/A	1	N/A	N/A	1	0	2	5
Lanaudière (14)	6	456	0	6	0	N/A	3	N/A	N/A	0	0	3	9
Laurentides (15)	13	988	0	13	0	N/A	5	N/A	N/A	0	1	6	19
Montérégie (16)	31	2 356	1	31	0	N/A	1	N/A	N/A	3	5	10	41
Centre-du-Québec (17)	4	304	0	4	0	N/A	3	N/A	N/A	1	0	4	8
Total	176	13 376	2	176	2	N/A	40	N/A	N/A	10	11	65	241

ANNEXE 4 – SCHÉMAS DÉCISIONNELS POUR LA PRIORISATION DES MÉTHODES DE MISE EN VALEUR

Bas-Saint-Laurent (01)

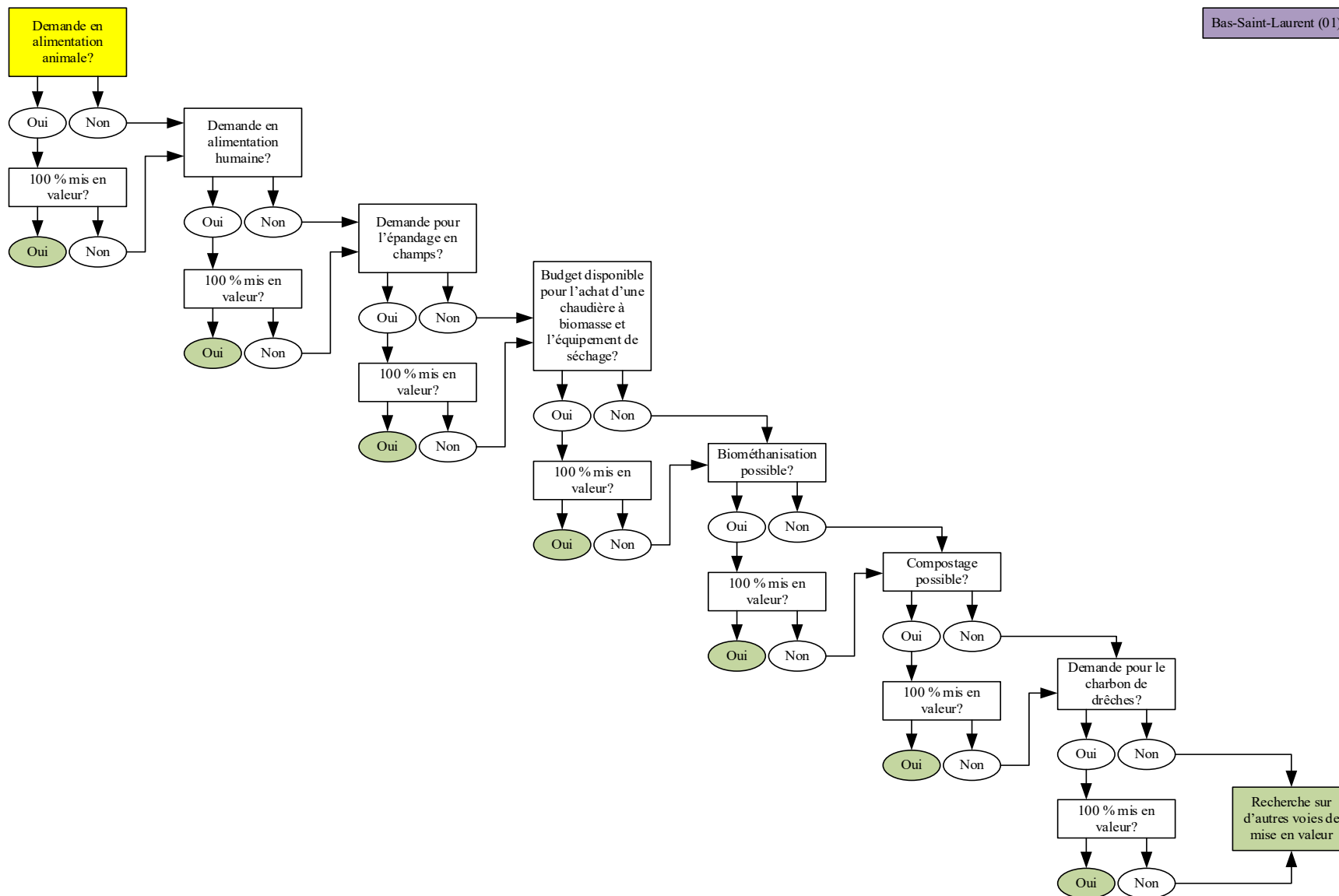


Schéma décisionnel pour le Bas-Saint-Laurent

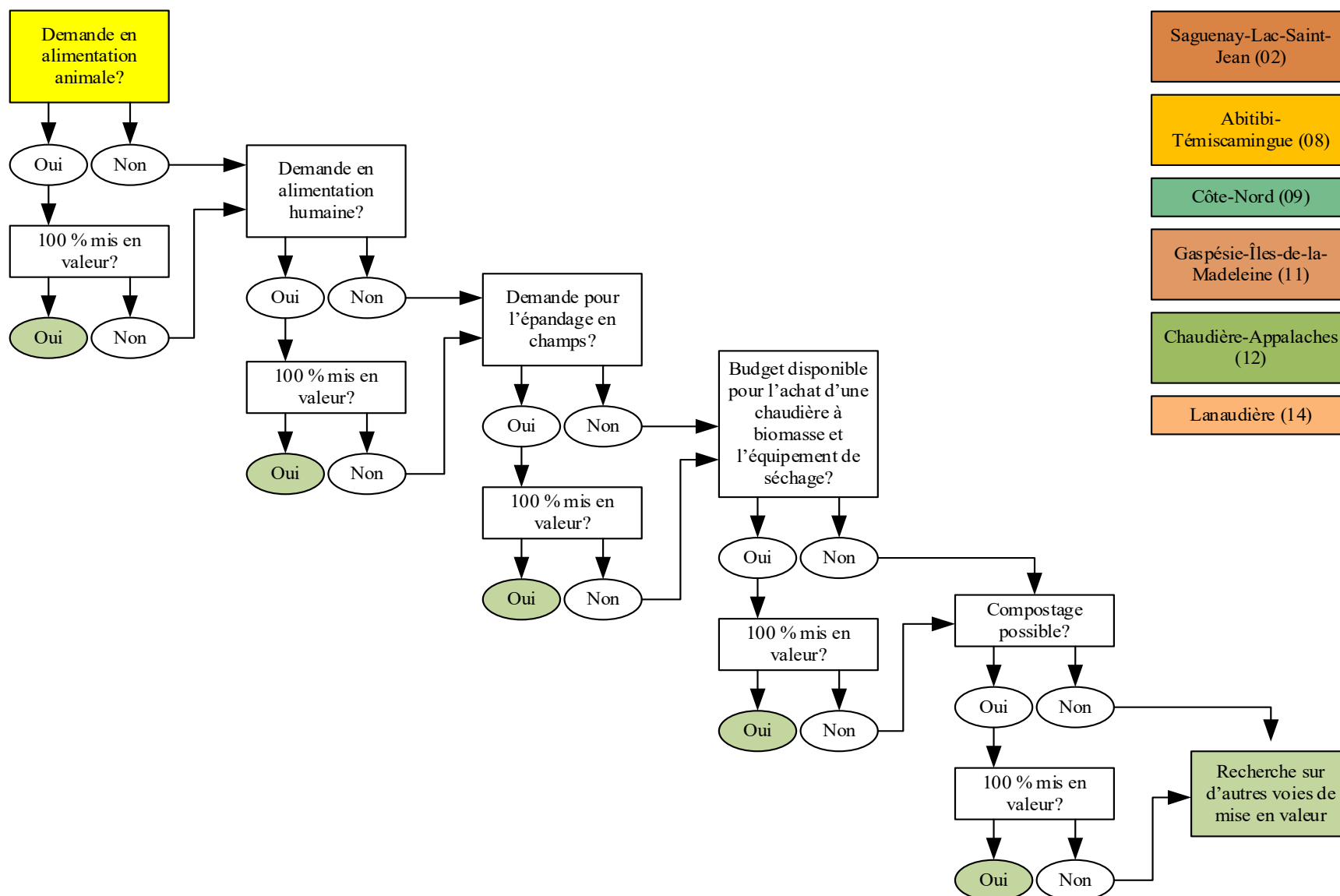


Schéma décisionnel pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean, l'Abitibi-Témiscamingue, la Côte-Nord, la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Chaudière-Appalaches et Lanaudière

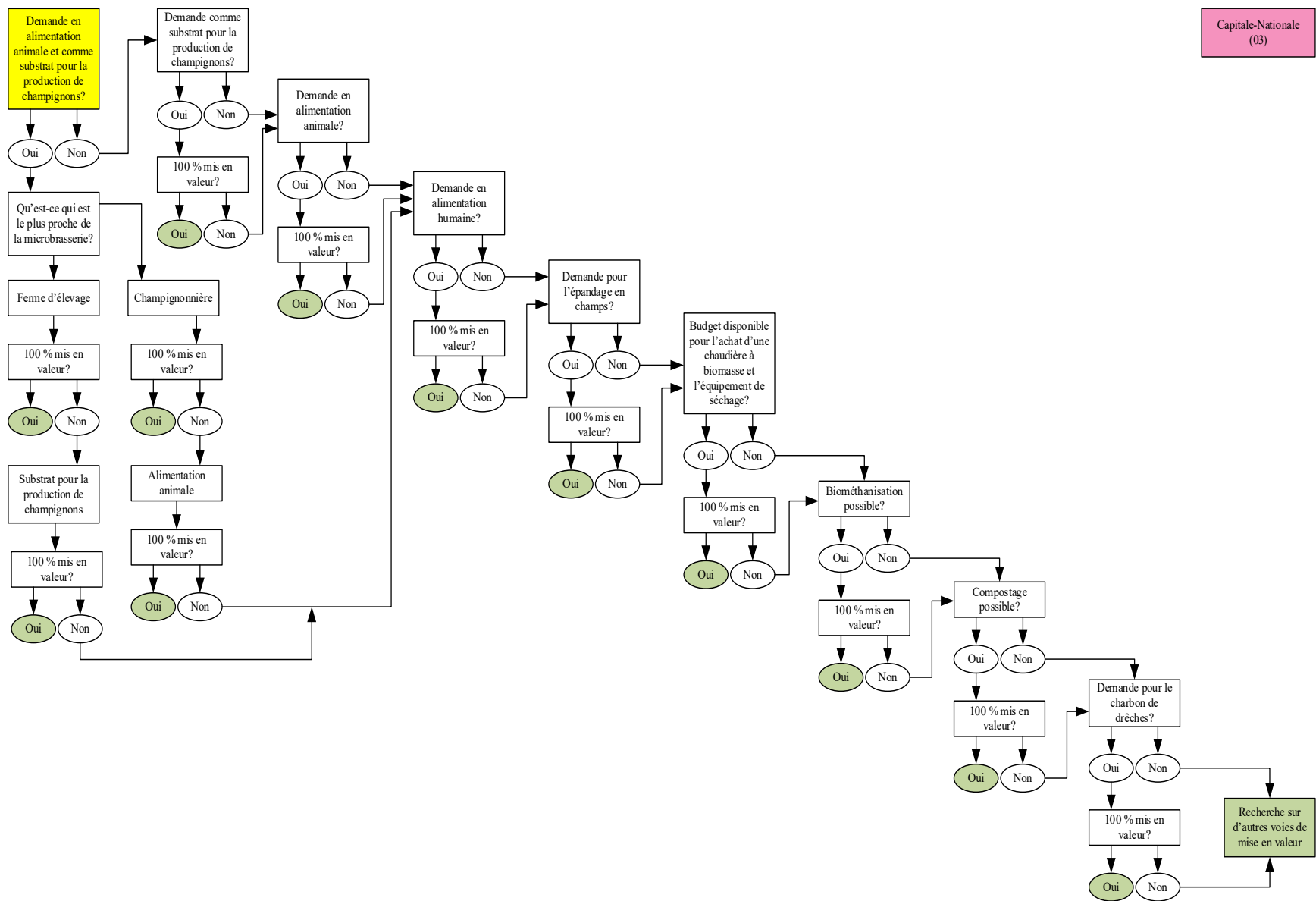


Schéma décisionnel pour la Capitale-Nationale

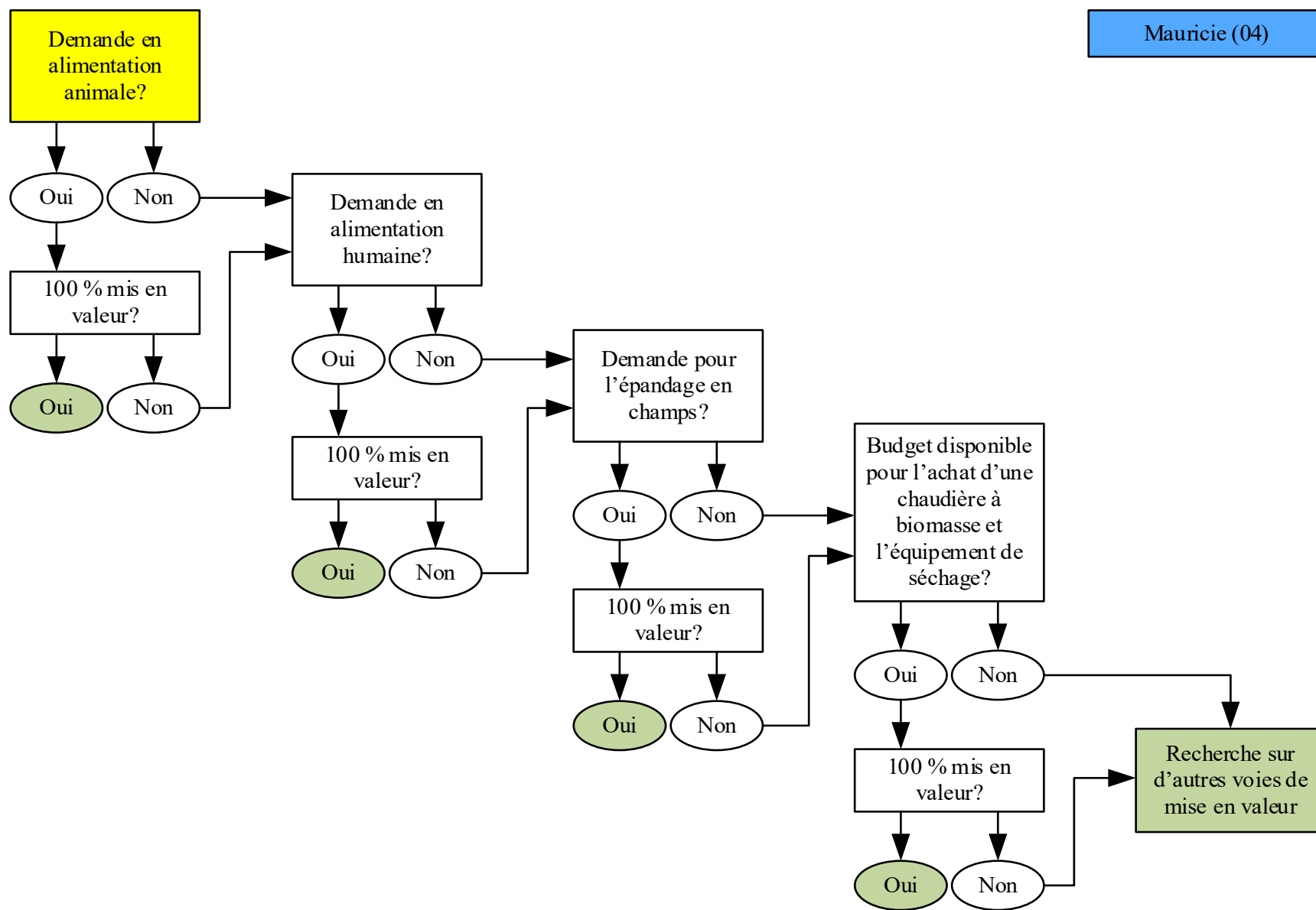


Schéma décisionnel pour la Mauricie

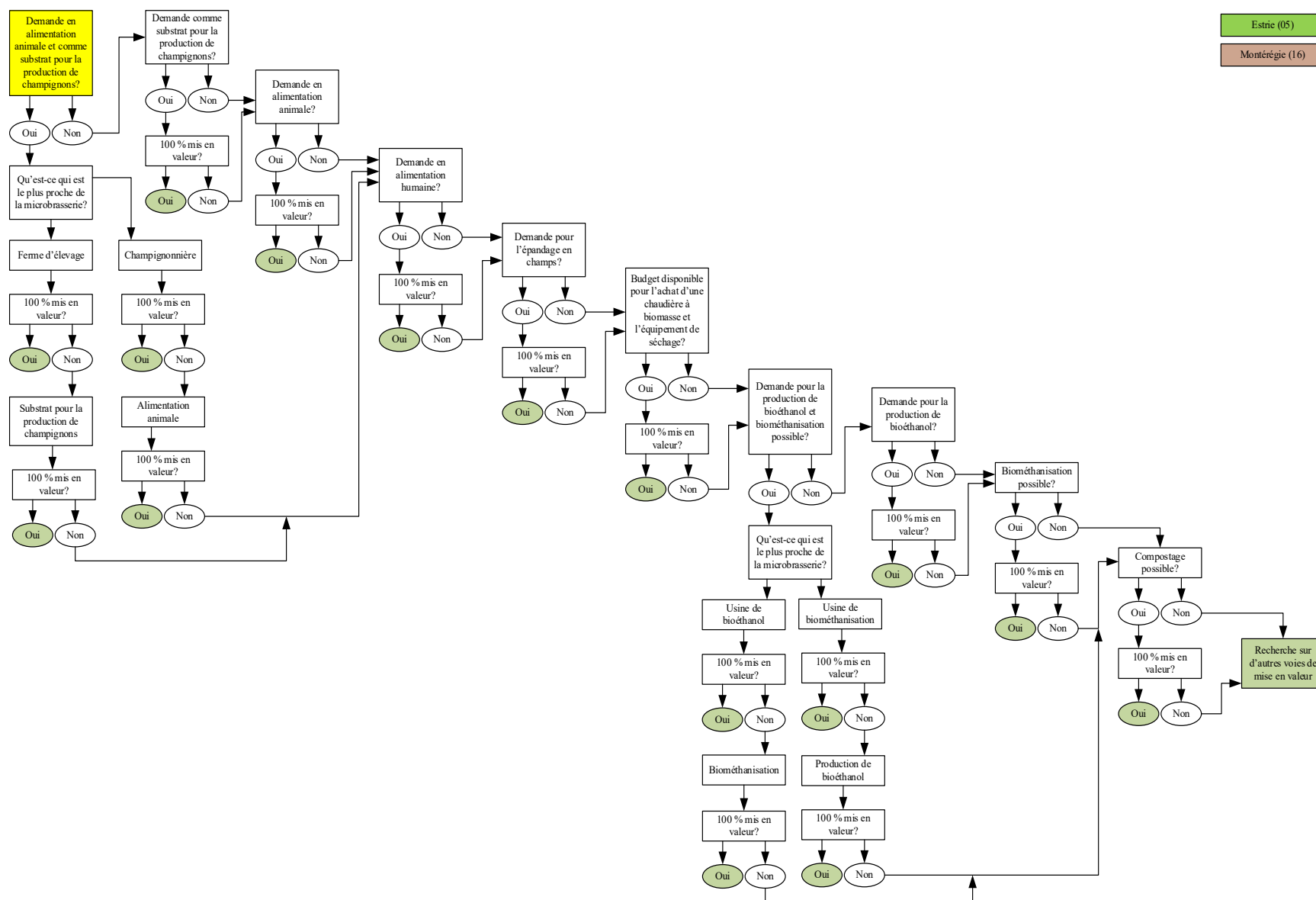


Schéma décisionnel pour l'Estrie et la Monterégie

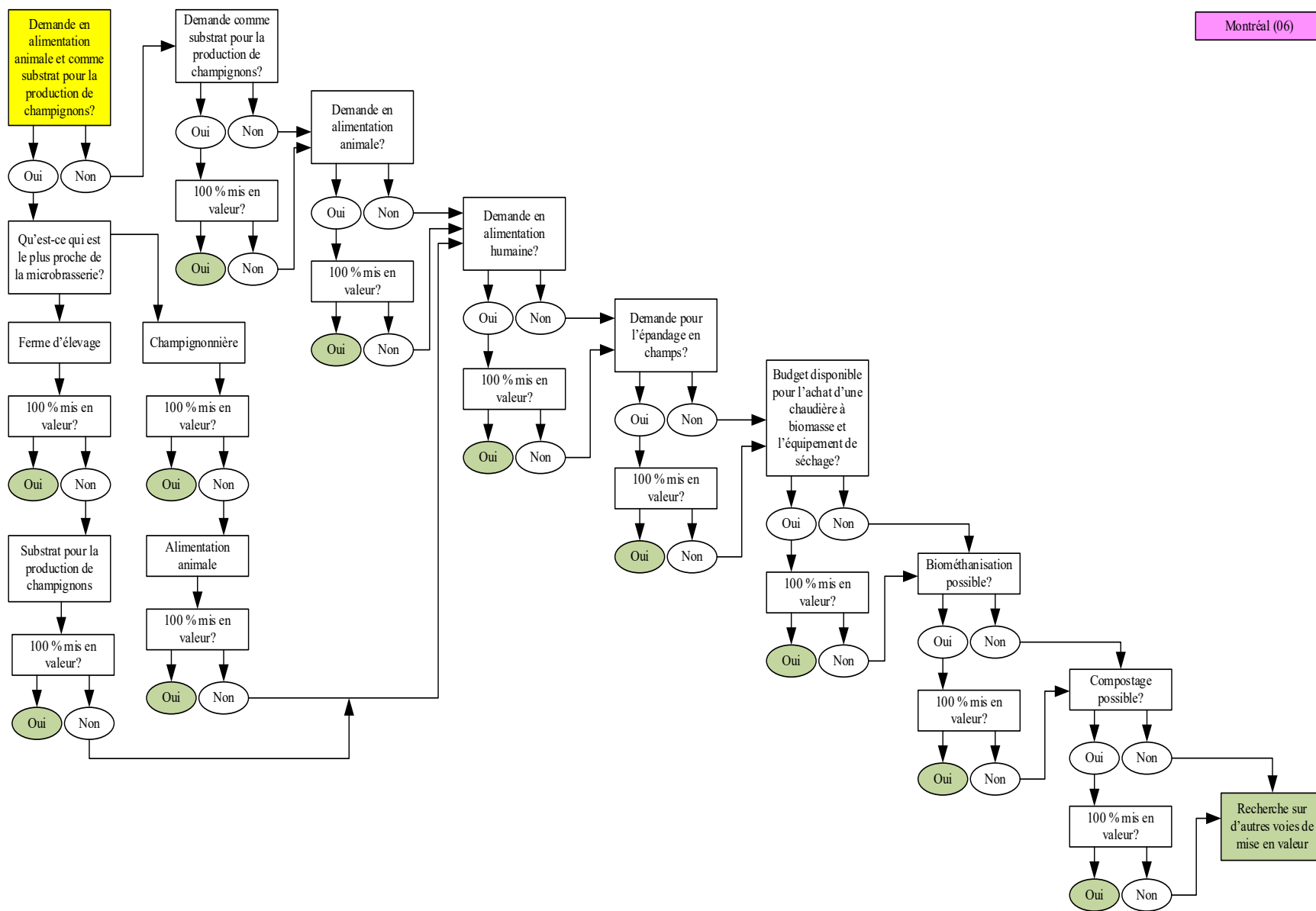


Schéma décisionnel pour Montréal

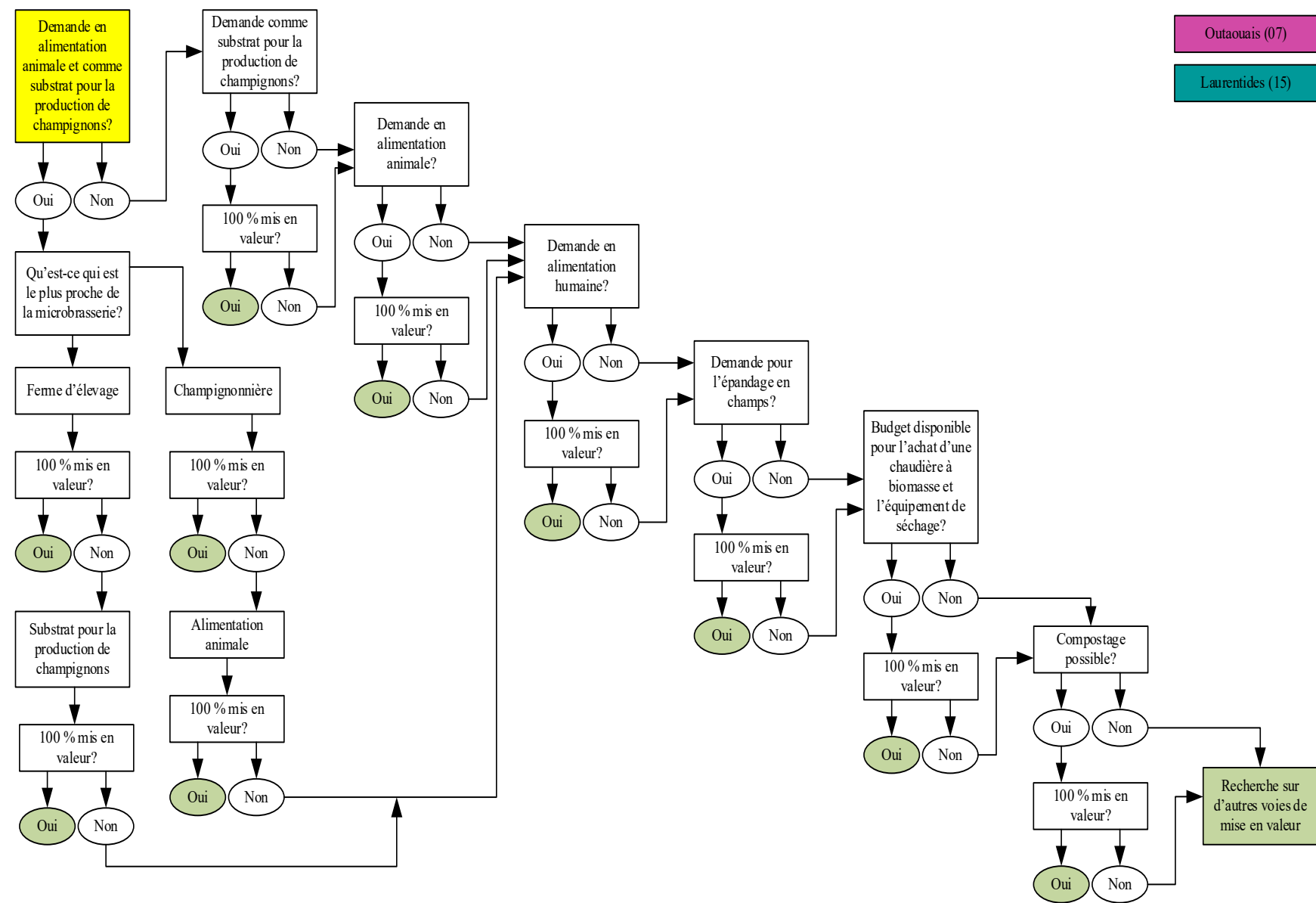


Schéma décisionnel pour l'Outaouais et les Laurentides

Laval (13)

Centre-du-Québec (17)

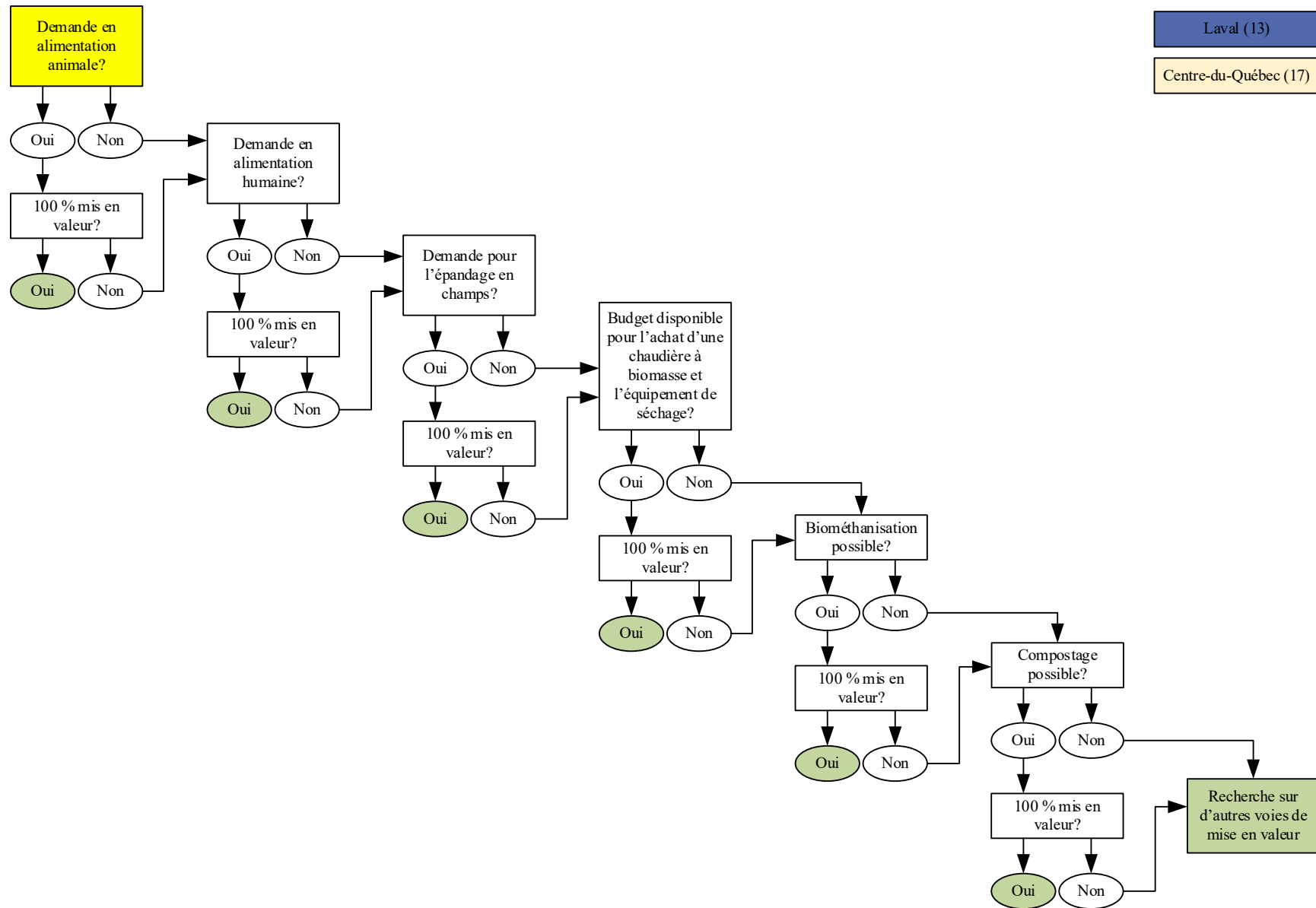


Schéma décisionnel pour Laval et le Centre-du-Québec